

**VERGLEICHENDE UNTERSUCHUNG DER
METHODEN ZUR KNOCHENALTERSCHÄTZUNG
NACH TANNER-WHITEHOUSE
UND DER PLANIMETRISCHEN METHODE
AN MINDERWÜCHSIGEN KINDERN**

Elmar F. Beuer

1977

AUS DER KINDERKLINIK DER UNIVERSITÄT MÜNCHEN

Direktor: Prof. Dr. K. Betke

VERGLEICHENDE UNTERSUCHUNG DER
METHODEN ZUR KNOCHENALTERSCHÄTZUNG
NACH TANNER-WHITEHOUSE
UND DER PLANIMETRISCHEN METHODE
AN MINDERWÜCHSIGEN KINDERN

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde in der Zahnmedizin
an der Ludwig-Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von
Elmar F. Beuer
aus
Moosburg

1977

Mit Genehmigung des Fachbereichs Medizin der Universität München

Berichterstatter: Dr. H. Fendel, akad. Direktor

Mitberichterstatter: Prof. Dr. O. Butenandt

Dekan: Prof. Dr. W. Spann

Tag der mündlichen Prüfung: 22.12.1977



INHALTSVERZEICHNIS

Seite

EINLEITUNG	1
MÖGLICHKEITEN ZUR BEURTEILUNG DES KÖRPERLICHEN ENTWICKLUNGSSTANDES	2
METHODEN ZUR KNOCHENALTERBESTIMMUNG	20
Quantitative Methoden	20
Metrische Methoden	21
Morphologische Methoden	25
MINDERWUCHS - Definition und Formen	29
EIGENE UNTERSUCHUNGEN	31
PATIENTENGUT	31
METHODIK	38
Auswertung nach der planimetr. Methode	38
Auswertung nach Tanner-Whitehouse	38
ERGEBNISSE	41
Einzelknochenalter	44
Kalenderalter - Methodenalter	45
Längenalter - Tanner-Whitehouse	48
Längenalter - planimetr. Methode	49
Gewichtsalter - Methodenalter	50
Tanner-Whitehouse - planimetr. Methode	53
DISKUSSION DER ERGEBNISSE	66
ZUSAMMENFASSUNG	69
ANHANG	71
Literaturverzeichnis	71
Lebenslauf	79

EINLEITUNG

Zur Beurteilung des körperlichen Reifezustandes eines Kindes benötigt man objektive Aussagen über seinen Entwicklungsstand.

Die Entwicklung läuft in Wachstums- und Differenzierungsvorgängen ab, in denen eine gewisse Regelmäßigkeit beobachtet werden kann. Da es in der Praxis nicht möglich ist, alle zur Entwicklung gehörenden Teilvorgänge zu bestimmen, müssen Bezugsgrößen, die den Entwicklungsstand am besten angeben können, herangezogen werden. Zwischen der allgemeinen körperlichen Entwicklung und der Skelettentwicklung besteht eine enge Beziehung. Daher bietet die röntgenologische Beurteilung des Skeletts die Möglichkeit einer objektiven Aussage über die somatische Reife eines heranwachsenden Menschen.

MÖGLICHKEITEN ZUR BEURTEILUNG DES KÖRPERLICHEN ENTWICKLUNGS- STANDES

Länge und Gewicht

Zur Beurteilung des körperlichen Entwicklungsstandes eines Menschen ist die Feststellung von Größe und Gewicht unerlässlich.

Die Körperlängen gleichaltriger Knaben und Mädchen zeigen eine bestimmte statistische Verteilung. Sie sind besonders bei Neugeborenen und vor beziehungsweise in der Pubertät schief verteilt. In dieser Arbeit werden Werte benutzt, die keine Normalverteilung voraussetzen, sondern Perzentilewerte, da diese unabhängig von der Normalität der Verteilung sind. Sie stammen nicht von deutschen Kindern und sind relativ alt. Dieser Nachteil wird bewußt in Kauf genommen, da es keine jüngeren deutschen Tabellen gibt, die mit Perzentilewerten arbeiten.

Die in Deutschland, getrennt nach Knaben und Mädchen, erstellten Somatogramme beantworten die Frage, ob sich die Größe eines Kindes in normalen Grenzen bewegt; sie geben neben dem Altersmittelwert für Größe und Gewicht auch jeweils die doppelte Standardabweichung (26) an, die als Normalbereich gilt (VOGT 1959 (56), KUNZE 1974 (31)).

Die Körperlänge von Kindern kann man mit Normalwerten vergleichen, die man in Tabellen und Kurven findet. Solche wurden von BALDWIN 1910, GORE und PALMER 1949, DALEY 1950, SUTCLIFFE 1952 und von TANNER und WHITEHOUSE 1959 für britische Kinder erstellt (52).

In den USA wurden im Anschluß an ausgedehnte Studien von STUART und STEVENSON Kurven entwickelt, die eine genaue Einordnung der Körpermaße eines Kindes zulassen (53). In diesen Perzentilekurven sind die Werte, getrennt nach Geschlecht, für Größe und Gewicht im Ablauf der Entwicklung kurvenförmig aufgetragen.

In den letzten 50 und mehr Jahren wurde eine Größenzunahme der Kinder festgestellt; deshalb sollten Längen- und Gewichtstabellen alle 10 - 15 Jahre überarbeitet werden (52). Die Tabellenwerte

sollten sich aus Untersuchungen ähnlicher Populationen herleiten, da sich rassische Merkmale auf die Länge eines Menschen auswirken. TANNER (52) stellte in vielen europäischen Ländern sogar einen Größenunterschied von Stadt- und Landkindern zugunsten der Stadtkinder fest.

Eine weitere Beurteilungsmöglichkeit besteht darin, die Wachstumsgeschwindigkeit zu messen; dies kann bei Wachstumsstörungen klinisch genutzt werden. Es bedarf dazu mehrerer Patientenvorstellungen.

Das Körpergewicht gleichaltriger Kinder ist nicht normal verteilt. Von allen herkömmlichen Methoden zeigt es bei der Darstellung als Verteilung die größte Schiefe (51). Größe-Gewicht-Tabellen wurden in England von GORE und PALMER 1949, DALEY 1950 (6 - 17 Jahre) und SUTCLIFFE und CANHAM 1950 (5 - 17 Jahre) erstellt.

Die Gewichtszunahme zeigt ebenfalls einen sehr verschiedenen Kurvenverlauf; bei Knaben eine größere Zunahme bis zum 8. Lebensmonat, dann nahezu Parallelität mit dem Gewicht der Mädchen bis zum 9. Lebensjahr. Mädchen bleiben dann schwerer bis zum 11. - 14. Jahr, danach ist ihr Gewichtszuwachs geringer als bei Knaben.

Da das Gewicht eines Menschen großen Schwankungen unterworfen ist, kommt ihm zur Beurteilung des körperlichen Entwicklungsstandes eine geringere Aussagekraft zu als der Länge.

Weitere körperliche Entwicklungsmerkmale sind Sitzgröße, Armlänge, Schulter- und Hüftbreite, Oberarm-, Oberschenkel-, Knie-, Handgelenks- und Kopfumfang, Zuwachs an subkutanem Fettgewebe und das Verhältnis Extremitäten versus Rumpflänge. (VICKERS und STUART 1943, SIMMONS 1944, GRAY und AYRES 1931)

Geschlechtsmerkmale

Zur weiteren Beurteilung der körperlichen Entwicklung kann die Ausprägung der primären und sekundären Geschlechtsmerkmale herangezogen werden.

Durch einen Vaginalabstrich kann man bei Mädchen das Einsetzen einer Östrogenwirkung vor der Menarche bestimmen (50).

Zahnalter

Eine weitere Möglichkeit zur Beurteilung der körperlichen Reife bietet die Auswertung der Zahl der durchgebrochenen Milchzähne, das Erscheinen des ersten bleibenden Molaren, der Zahnwechsel selbst und das Zahnwurzelalter (52).

AUBRIE et al. fordern Langzeitstudien über die Beziehung zwischen Knochenalter und Zahnalter mit der Ausarbeitung von objektiven Werten für die Zahnentwicklung.

Obwohl KRAUS (29) die Erstellung eines Atlas aufgrund der unzureichenden Aufnahmebedingungen bei sehr kleinen Kindern für schwierig hält, entwickelten SCHOUR und MASSLER (43) und KRONFELD (30) Normalwerte der Zahnentwicklung. Bei ihren Querschnittsuntersuchungen trennen sie nicht nach den Geschlechtern.

Die Diskussion, ob Knochenreifung und Zahnentwicklung von denselben Faktoren gesteuert werden, ist noch nicht abgeschlossen. WAGNER und COHEN (57) sehen die Sexualentwicklung und das Knochenalter in enger Relation, während Knochenreifung und Zahnentwicklung unabhängig voneinander verlaufen. Sie stellen fest, daß eine exzessive Androgenausschüttung zu beschleunigter Zahnentwicklung und verfrühtem Zahndurchbruch führt.

LAUTERSTEIN et al. zeigen ebenfalls, daß Kinder mit beschleunigtem Knochenalter mehr durchgebrochene Zähne aufweisen als andere (32).

Sie halten die Wurzelbildung für einen gleich guten Entwicklungsindikator wie das Knochenalter und finden eine hohe positive Korrelation zwischen der Wurzelentwicklung und dem Knochenalter; eine niedrige dagegen zwischen der Zahl der durchgebrochenen Zähne und dem Knochenalter.

SUTOW und TERASAKI et al. (49) bestätigen nach Untersuchungen an 1000 japanischen Kindern zwischen 7 und 14 Jahren den Zusammenhang von fortgeschrittenem Zahnalter und fortgeschrittenem

Knochenalter.

Es wurden viele Versuche unternommen, dem Zahnalter in der Entwicklungsbeurteilung einen Platz einzuräumen. Die Bestimmung des Zahnwurzelalters scheitert auf breiter Basis an den schwierigen Aufnahmebedingungen bei sehr kleinen Kindern und läßt somit einen wichtigen Lebensabschnitt unbeobachtet. Das klinisch leicht bestimmbare Zahndurchbruchsalter scheint zu ungenaue Aussagen über den Entwicklungsstand machen zu können. Deshalb wird das Zahnalter als Gradmesser der Entwicklung des menschlichen Skeletts wenig benützt.

Skelettreife

Reife umschließt Wachstum und Entwicklung.

Entwicklung bedeutet Differenzierung, das heißt Veränderung der Form, der Struktur, der Funktion und des Verhaltens.

Wachstum dagegen bedeutet Zunahme an Größe und Masse.

Als bester Indikator für eine objektive Beurteilung der Reifung erscheint das Knochenalter.

Das Knochenalter als Kriterium der Reife

Jedes gesunde Individuum erreicht durch Gestalts- und Größenveränderung seine Reife. Dabei bildet sich, entwickelt sich und wächst Knochengewebe. Diesen Vorgang nennen wir Ossifikation. Die normale Ossifikation beginnt beim Feten mit der desmalen Ossifikation, das bedeutet direkte Umwandlung von Bindegewebe in Knochen (Clavicula, Belegknochen des Schädels). Die zweite Ossifikationsform der Fetalzeit ist die perichondrale Ossifikation, bei der sich Knochengewebe um die Knorpelstäbe der künftigen Röhrenknochen herum bildet. Beim Erwachsenen wird die Erneuerung dieser Knochenmanschette als periostale Ossifikation bezeichnet. Als letztes kommt es während der Fetalzeit zur enchondralen Ossifikation, die erst an der Grenze zwischen Epiphyse und gefäßreicher Metaphyse einsetzt und dann auch in der

Epiphyse stattfindet. Die während des ganzen Lebens fortdauernde Knochenerneuerung (Abbau und Aufbau) in diesen Bezirken bezeichnet man als endostale Ossifikation.

Als Ossifikationskern bezeichnet man einen Knochenkern, von dem die enchondrale Ossifikation ausgeht. Die sekundären, postnatal auftretenden Verknöcherungskerne lassen sich auf dem Röntgenbild darstellen, und ihre Gestalts- und Größenveränderungen können dabei beobachtet werden.

Mit dem Epiphysenschluß wird das Längenwachstum abgeschlossen.

Da der Knochen in seinem Wachstum und in seiner Entwicklung zu bestimmten Zeiten eine röntgenologisch beschreibbare Form und meßbare Größe zeigt, suchte man nach einem Begriff, der seinen Entwicklungsstand am besten ausdrücken kann. Dabei werden häufig anstelle des Begriffes Knochenalter die Synonyma Skelettalter und Ossifikationsalter gebraucht.

"Bone age" und "Skeletal age" wurden als Bezeichnung für den Reifegrad von Kindern gebräuchlich. Das Knochenalter zeigt eine sehr große Variation (HANSMANN und MARESH (25)).

CAFHEY (4) beschreibt einen Knaben, der mit sieben Jahren die Knochenreife eines 1/2-jährigen besitzt. HOUSE (26) zieht aus einer Umfrage an Radiologen den Schluß, daß 49 von 70 über die unteren und oberen Knochenaltersgrenzen normaler 6-jähriger Kinder sehr unterschiedlicher Meinung waren. Eine Varianz von ± 1 Jahr wurde als durchaus "normal" erachtet. 5 % der Befragten hielten sogar eine Abweichung von $\pm 2 - 3$ Jahren für physiologisch. Von den sechsjährigen Kindern lagen die meisten an einer unteren Grenze von 5 Jahren, die obere Grenze war im allgemeinen unbedeutend.

Somit wird die Problematik des Begriffes "Knochenalter" deutlich; ähnlich verhält es sich mit dem Längenalter und Gewichtsalter. In einem Rundtischgespräch unter Leitung von BUDLIGER (3) kommt zum Ausdruck, daß es besser wäre, wenn im Bereich der Knochenreife vereinfachte und verbesserte Punktwert-Methoden das Knochenalter ersetzen würden.

Da der Begriff des Knochenalters aber nach wie vor noch gebräuchlich ist, wird er im folgenden auch weiterhin verwendet.

Knochenalter bedeutet, daß das Alter eines Kindes anhand einzelner Abschnitte des Skelettsystems ermittelt wird. Einzelne Knochen werden dabei nach Erscheinungszeitpunkt, Formausbildung und Formwandel, nach ihrer Größe und dem Endpunkt ihrer Entwicklung hin untersucht, mit dem Normalfall verglichen und dann entsprechend eingestuft.

ACHESON (2) warnt vor einem überspitzten Gebrauch des Begriffes "Alter" und deshalb vor falschen Schlüssen aus abweichenden Knochenaltern, da diese noch kein krankes Kind "signalisieren".

Mit diesen Einschränkungen vermag der Ossifikationsstand über die Entwicklung eines Kindes mehr auszusagen als die Körperlänge, das Körpergewicht, das Alter und die anderen äußeren Entwicklungsin-dikatoren. Nur im Idealfall stimmen chronologisches Alter und Knochenalter überein.

Das röntgenologisch bestimmte Knochenalter ist mit der allgemeinen Entwicklung eines Kindes gut korreliert. So zeigt zum Beispiel der Zeitpunkt des Eintritts der Pubertät eine bessere Korrelation mit dem Knochenalter als mit dem chronologischen Alter.

Die Hand als Skeletteil der Wahl

Um über das Knochenalter eine Aussage machen zu können, werden bestimmte Methoden zu seiner Bestimmung benötigt. Grundsätzlich eignen sich alle Abschnitte des Skeletts.

GARN, ROHMANN und SILVERMAN (19) halten sechs Körperregionen zur Knochenalterbestimmung für am besten geeignet: Hand, Fuß, Ellenbogen, Knie, Schulter und Hüfte, also alle Regionen, die Gelenke enthalten. Dabei halten sie die Hand für weder besser noch schlechter geeignet als andere Körperteile.

CAFFEY plädiert 1962 für ein Studium des ganzen Skeletts, eine etwas weitgehende Forderung, wenn man dabei die damit verbundene

hohe Strahlenexposition bedenkt. ELGENMARCK (8) benötigt für sein numerisches Verfahren die Röntgenaufnahmen des Skeletts einer ganzen Körperhälfte des Kindes oder Einzelaufnahmen von sieben Körperregionen. Da bei Knaben vor dem 6. Lebensjahr bereits 60 von den 73 wichtigsten postnatalen Ossifikationszentren, bei Mädchen 65 erschienen sind, erscheint diese Methode bereits von der Zeit ihrer Anwendbarkeit her begrenzt. Sie ist heute für den Routinegebrauch im allgemeinen verlassen (10).

ACHESON (2) trug in Zeitabständen das Knochenalter der Hand und des Knies gegen das chronologische Alter auf und bekam für die Hand eine Kurve, für das Knie eine Gerade; also besteht in diesen Arealen ein unterschiedlicher Reifezuwachs. Auch KÖHLER 1911, SONTAG und LIPFORD 1943 und MANN, DREIZEN und PYLE et al. 1948 fanden Unterschiede des Reifezuwachses in den verschiedenen Arealen.

Trotzdem suchte man nach einem Areal des Körpers, das durch eine strahlungsschonende Röntgenmethode mit möglichst einfacher Aufnahmetechnik ausreichende Informationen bot.

Für den Routinegebrauch haben sich aus praktischen Gründen nur die Verfahren durchsetzen können, die zur radiologischen Skelettalterbestimmung die Hand als eine für die Ossifikation des übrigen Skeletts repräsentative Körperregion benutzen (zit. nach (10)). Die lokale Strahlenbelastung der Haut ist bei der Hand- und Fußaufnahme am geringsten.

Bei Hüftgelenksaufnahmen kommt vor allem noch eine hohe Gonadenbelastung hinzu. Bei der Handaufnahme ist die Gonadenbelastung vernachlässigbar klein (19).

Das Handskelett enthält 28 brauchbare, sekundäre Ossifikationszentren, deren Entwicklung während der ganzen Kindheit ausreichende Aussagen erlauben. Bereits 1908 unternahm ROTCH (40) den Versuch, mittels Röntgenaufnahmen der Hand das Skelettalter zur Feststellung der Schulreife eines Kindes zu bestimmen. Es folgten dann viele Autoren, die mit Handröntgenaufnahmen eine Aussage über das Knochenalter machten. Nur in schwierigen Fällen, wenn das Knochenalter einen hohen diagnostischen Wert besitzt und sehr genau be-

stimmt werden soll, reicht das Skelettalter der Hand allein nicht aus. In diesen Fällen empfiehlt sich die Zuziehung anderer Körperregionen zur zusätzlichen Auswertung. Vornehmlich im ersten Lebensjahr sind Knochenalterschätzungen ohne Aufnahme des Kniegelenkes und des Fußes sehr ungenau.

Im kindlichen Handskelett sind Knochenkerne der Epiphysen wie auch der Carpalia röntgenologisch festzustellen. Vom Zeitpunkt ihres Erscheinens bis zum Verschmelzen der Epiphysen mit den Metaphysen machen sie einen bestimmten Formwandel durch, der in Stufen erfolgt. Dies scheint bei allen Rassen gleich zu sein und läßt sich auf dem Röntgenbild gut kenntlich machen.

Asymmetrien der linken und rechten Hand

Zwischen rechter und linker Hand bestehen geringe Seitenunterschiede während der Fetalzeit, zum Zeitpunkt der Geburt und während der Kindheit. LONG und CALDWELL, sowie ALLEN, SONTAG und LIPFORD beschreiben geringfügige Unterschiede der Skelettreifung der rechten und linken Hand (zit. n. (38)). Es gibt allerdings Autoren, die die rechte Seite als Funktionsseite für die wesentlich weiter entwickelte und reifere halten als die linke. Andere fanden, daß, wenn man überhaupt von einer Asymmetrie sprechen kann, die linke Seite mehr Ossifikationszentren zeigt als die rechte.

ROCHE (38) fertigte von 119 australischen Kindern Röntgenaufnahmen der linken und rechten Hand an und wertete sie nach der Knochenalterbestimmungsmethode von GREULICH und PYLE aus. In der Mehrzahl der Knaben und Mädchen fanden sich auf der linken Seite die gleiche Anzahl von Knochenkernen als auf der rechten. Dabei wurde eine Tendenz beider Geschlechter für mehr Knochenkerne der linken Hand erkannt. Der größte Seitenunterschied betrug im Durchschnitt 1,76 Monate.

BUDLIGER hat bei statistischen Untersuchungen eine gewisse Differenz im Reifegrad der linken und rechten Hand gefunden. Diese war aber so klein, daß sie für den praktischen Gebrauch vernach-

lässigt werden kann. Allgemein hat man sich auf die Beurteilung der linken Hand geeinigt" (zit. n. (3)). Aus diesem Grunde gehen alle folgenden Überlegungen und Beurteilungen vom Röntgenbild der linken Hand aus.

Aussagekraft der Carpalia und Phalangen

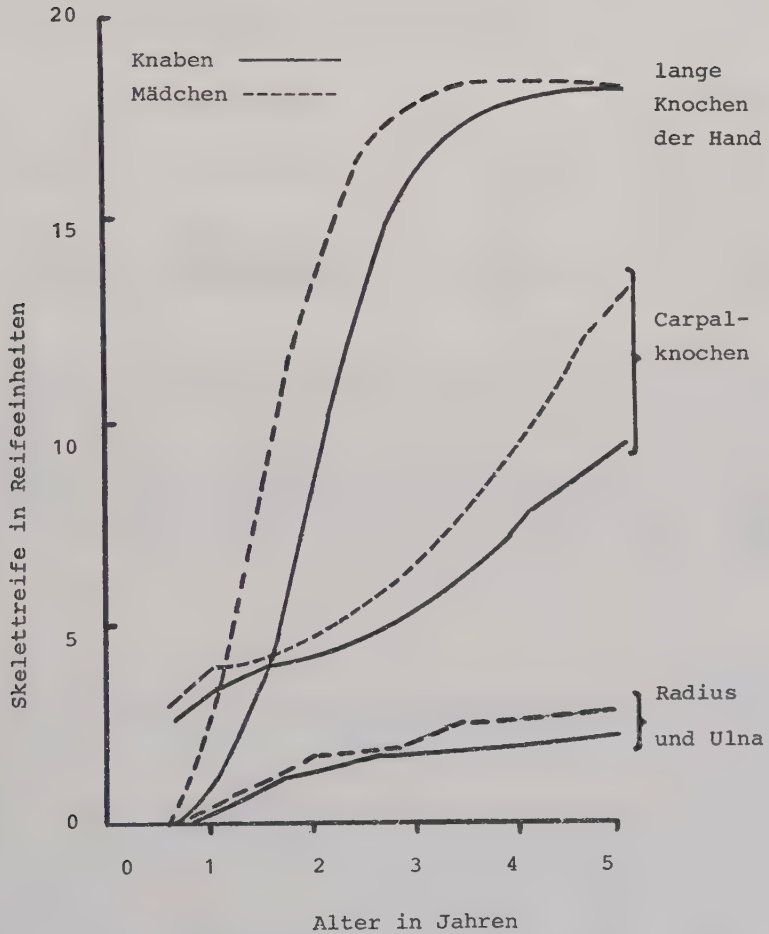
In der menschlichen Hand lassen sich primäre (= Carpalia) und sekundäre (= Epiphysen) Ossifikationszentren röntgenologisch festhalten.

ACHESON glaubt, daß sich runde und lange Knochen der Hand nicht mit gleicher Geschwindigkeit weiterentwickeln (2). Er zeigt, daß sich die langen Knochen nur bis zu einem Alter von ca. 1 1/2 Jahren gegenüber den Carpalknochen langsamer entwickeln, da sie erst in diesem Zeitraum röntgenologisch sichtbar werden, dann aber in großen Entwicklungsschritten vorseilen.

Demzufolge hält es ACHESON (1) auch für falsch, die Standards oder "Scores" der langen und runden Knochen zu addieren, da ihr Reifezuwachs nicht gleichwertig ist. Dagegen wird nach HANSMANN und MARESH die Knochenalterbestimmung zur willkürlichen Altersfestlegung, wenn man nur die Carpalia oder die Phalangen getrennt betrachtet (25). Sie halten die sekundären Ossifikationszentren für aussagekräftiger als die primären, indem sie darauf verweisen, daß ein 8-jähriger Knabe nur drei röntgenologisch sichtbare Carpalkerne besitzt. Trotzdem wird im allgemeinen die Bewertung aller der Wertung einzelner Knochenkerne vorgezogen.

GRAHAM (20) hält den Ausschluß der Carpalia zur Verbesserung des Ergebnisses für notwendig. Er erstellte eine Age-of-Appearance-Tabelle, in der er 73 Ossifikationszentren in der Reihenfolge ihres Erscheinens angibt. Er weist darin auf die Schwierigkeit im Erkennen des Os pisiforme hin, da es im Röntgenbild vom Os triquetrum überlagert wird.

Variationen in der Verknöcherungsreihenfolge erschweren die Schätzung, weshalb einige Autoren die Carpalia ausschlossen. Das Os triquetrum zum Beispiel kann in beliebiger Reihenfolge



Tab. 1: Unterschiedlicher Reifezuwachs verschiedener Knochen der Hand nach Knaben und Mädchen getrennt.
Aus R.M. ACHESON (2)

als 3. bis 24. Knochenkern innerhalb der 28 Knochenkerne der Hand erscheinen (17).

Nach einer Studie von GARN, ROHMANN und SILVERMAN (19) haben die "runden Knochen" wenig Aussagekraft bei der Ermittlung des augenblicklichen wie des zukünftigen Skelettstatus. Nach ihren Ermittlungen sind die aussagekräftigsten Knochen der Hand folgende:

bei Knaben:

Telephalanx: 2,3,4,5,
Mesöphalanx: 3,4,
Basöphalanx: 5,
Metacarpale: 2,3,4,5,

bei Mädchen:

Telephalanx: 1,2,3,4,
Basöphalanx: 2,3,4,5,
Metacarpale: 1,2,3,4,5,

In einer anderen Studie beschäftigt sich PYLE (37) mit dem Ossifikationsbeginn, der Beendigung des Wachstums und dem dazwischenliegenden Zeitraum anhand von 21 ausgewählten Knochen der Hand.

Die folgenden Tabellen zeigen die Reihenfolge des Erscheinens der 28 Ossifikationszentren der Hand. Sie stellen ebenfalls einen Vergleich verschiedener Autoren dar.

Knochen	GARN und ROHMANN	PYLE und SONTAG ('43)		STUART in NELSON ('54)	GREULICH und PYLE	
					a	b
Capitulum	1	1		1	1	1
Hamatum	2	2		2	2	2
Dist. Radiusepi.	3	3		3	3	3
Proximal III	4	4		4	4	4
Proximal II	5	5		5	5	5
Distal I	7	8		8	8	8
Proximal IV	6	6		6	6	6
Metacarpale II	8	7		7	7	7
Metacarpale III	9	9		9	9	9
Metacarpale IV	13	11		11	11	10
Proximal V	10	10		10	10	11
Mittel III	11	12		12	12	12
Mittel IV	12	13		13	13	13
Metacarpale V	15	14		14	15	14
Mittel II	14	15		15	14	15
Distal IV	17	18		16	17	18
Triquetrum	18	16		18	18	16
Metacarpale I	19	19		19	19	19
Distal III	16	17		17	16	17
Proximal I	20	20		20	20	20
Distal II	21	21		21	22	22
Distal V	22	22		22	21	21
Mittel V	23	23		23	23	23
Lunatum	24	24		24	24	24
Naviculare	26	25		25	27	27
Multangulum minus	25	27		27	26	26
Multangulum majus	27	26		26	25	25
Dist. Ulnaeepiphyse	28	28		28	28	28

Tab. 2: Reihenfolge im Erscheinen der Ossifikationszentren der Hand bei Knaben. (aus GARN S.M.,

ROHMANN C.C. (16))

GREULICH und PYLE a) bezieht sich auf die Brush Foundation-Studie (S. 16)

GREULICH und PYLE b) bezieht sich auf die für den Atlas angegebene Reihenfolge (S. 186)

Knochen	GARN und ROHMANN	PYLE und SONTAG ('43)	STUART in NELSON ('54)	GREULICH und PYLE	
				a	b
Capitatum	1	1	1	1	1
Hamatum	2	2	2	2	2
Dist. Radiusepi.	4	4	3	3	3
Proximal III	3	3	4	4	4
Proximal II	5	5	5	5	5
Proximal IV	6	6	6	6	6
Distal I	7	7	7	7	7
Metacarpale II	8	8	8	8	8
Metacarpale III	9	9	9	9	9
Proximal V	10	10	10	10	11
Mittel IV	11	11	11	12	13
Metacarpale IV	12	13	12	13	10
Mittel III	13	12	11	11	12
Mittel II	14	15	14	15	15
Metacarpale V	15	14	15	14	14
Distal III	16	17	16	16	17
Distal IV	17	16	17	17	18
Metacarpale I	18	18	18	18	19
Proximal I	19	19	19	19	20
Triquetrum	20	20	20	20	16
Distal II	23	23	22	23	22
Mittel V	21	21	21	21	23
Distal V	22	22	23	22	21
Lunatum	24	24	24	24	24
Multangulum majus	25	25	25	25	25
Naviculare	26	26	26	27	27
Multangulum minus	27	27	27	26	26
Dist. Ulnaeepiphyse	28	28	28	28	28

Tab. 3: Reihenfolge im Erscheinen der Ossifikationszentren der Hand bei Mädchen. (aus GARN S.M.,

ROHMANN C.G. (16))

GREULICH und PYLE a) bezieht sich auf die Brush Foundation-Studie (S. 16)

GREULICH und PYLE b) bezieht sich auf die für den Atlas angegebene Reihenfolge (S. 186)

VERLAUF DER OSSIFIKATION

Knochen	Beginn		Abschluß		Dauer	
	Alter	S.D.	Alter	S.D.	Alter	S.D.
Capitatum	2,9	1,7	182	12	180	12
Hamatum	4,2	2,7	183	12	179	11
Dist.Radiusepi.	12,3	5,3	208	8	196	11
Proximal III	16,4	4,6	191	12	175	12
Proximal II	17,2	4,8	191	13	174	13
Proximal IV	18,1	5,0	191	13	173	13
Metacarpale II	19,3	5,5	194	13	175	13
Distal I	20,6	6,8	184	13	163	14
Metacarpale III	21,8	6,9	195	13	173	14
Proximal V	23,8	6,7	191	13	167	14
Metacarpale IV	24,8	7,3	194	13	170	14
Mittel III	25,1	6,2	192	13	167	14
Mittel IV	26,0	6,7	192	13	166	14
Mittel II	27,1	7,1	191	12	164	14
Metacarpale V	27,1	8,6	196	14	168	15
Triquetrum	29,5	16,2	183	12	153	20
Distal III	30,7	7,1	186	13	156	13
Distal IV	31,2	7,4	186	13	155	14
Metacarpale I	34,8	11,1	187	14	152	16
Proximal I	36,3	9,1	191	13	155	15
Distal II	41,2	9,0	185	13	144	14
Distal V	41,9	10,1	186	13	144	15
Lunatum	43,5	14,7	183	11	140	16
Mittel V	44,4	11,9	190	13	146	15
Scaphoid	69,6	15,4	183	11	113	17
Trapezoid	72,0	16,1	183	11	111	15
Trapezium	72,7	18,4	183	11	110	19
Dist.Ulnaeppi.	80,3	13,4	205	10	124	16
Add.Sesamoid I	150,8	13,7	192	14	41	14

Tab. 4: Beginn, Abschluß und Dauer des Ossifikationsalters bei Knaben; Alter und Standardabweichung in Monaten.

(aus STUART H.C., PYLE S.J., CARNONI J., REED, R. (48))

VERLAUF DER OSSIFIKATION

Knochen	Beginn		Abschluss		Dauer	
	Alter	S.D.	Alter	S.D.	Alter	S.D.
Capitulum	2,5	1,8	159	10	157	10
Hamatum	3,1	2,2	159	10	156	10
Dist.Radiusepi.	10,0	4,2	200	12	190	12
Proximal III	10,6	3,2	166	12	155	11
Proximal II	10,9	2,9	166	12	155	11
Proximal IV	11,0	3,2	166	12	155	11
Metacarpale II	13,1	3,3	170	13	156	13
Distal I	13,2	5,5	157	11	144	10
Metacarpale III	14,4	3,9	170	13	156	13
Proximal V	14,7	3,8	164	12	150	11
Metacarpale IV	15,5	3,8	169	14	153	14
Mittel III	15,7	5,4	167	12	152	11
Mittel IV	16,0	5,2	168	12	152	11
Mittel II	17,0	5,4	166	12	149	11
Metacarpale V	17,0	5,0	170	13	153	12
Triquetrum	26,6	14,0	160	9	133	15
Distal III	19,1	6,0	159	11	140	11
Distal IV	19,6	5,9	159	12	139	11
Metacarpale I	19,9	5,4	164	13	144	12
Proximal I	21,6	6,4	165	11	144	11
Distal II	25,0	6,8	158	11	133	11
Distal V	25,0	6,7	160	15	135	15
Lunatum	36,1	17,3	160	9	124	16
Mittel V	25,9	8,3	165	12	139	16
Scaphoid	53,7	13,8	160	9	106	15
Trapezoid	51,8	12,3	160	9	108	13
Trapezium	51,6	16,4	160	9	108	18
Dist.Ulnaepli.	72,4	12,1	191	12	119	12
Add.Sesamoid I	127,8	10,3	167	14	39	13

Tab. 5: Beginn, Abschluss und Dauer des Ossifikationsalters bei Mädchen, Alter und Standardabweichung in Monaten.

(aus STUART H.C., PYLE S.J., CARNONI J., REED R. (48))

Es zeigt sich, daß bis zu einem Alter von circa 16 Monaten das Capitatum, Hamatum und die distale Radiusepiphyse allein zur Skelettalterbestimmung herangezogen werden müssen. Erst im Alter von 26 - 30 Monaten erscheint das Triquetrum als nächster Carpalkern. Würde man sich nur auf die Bestimmung der sekundären Ossifikationszentren, also der Fingerepiphysen, verlassen, so bliebe der wichtige Lebensabschnitt der ersten 1 1/2 Jahre unberücksichtigt.

Die Entwicklung der Carpalia wird von verschiedenen unspezifischen Krankheiten mehr beeinträchtigt als die der Epiphysen. Dies schränkt ihre Brauchbarkeit zur Knochenalterbestimmung ein.

BUGYI zeigt, daß das Größenwachstum der einzelnen Handwurzelknochen nicht gleichwertig ist, da das Naviculare ein etwas schnelleres Wachstum aufweist; das Größenwachstum des V. Mittelhandknochens verläuft langsamer als das der übrigen Metacarpalia.

Auch Rasseneigenarten scheinen sich auf das Erscheinen der "round bones" auszuwirken, da sie bei amerikanischen Negern und afrikanischen Gruppen in den Händen und Füßen früher als bei weißen Kindern nachzuweisen sind (13).

GARN und ROHMANN zeigen eine gute Eltern-Kind-Korrelation der Carpalia auf, während diese bei den Metacarpalia und Fingerepiphysen gering ist (15). Sie fordern für die Zukunft, die Handwurzelknochen weniger für sich individuell beim einzelnen Kind zu betrachten, sondern mehr Gewicht auf einen Vergleich mit familiär typischen Abweichungen und Besonderheiten zu legen.

Bei Knaben und Mädchen erscheinen die Metacarpalia und Phalangen als verlässliche Indikatoren für die Entwicklung, obwohl nur eine geringe Interkorrelation festzustellen ist. Carpalia, Radiusepiphyse und Ulnaepiphyse zeigen die geringste Interkorrelation, während bei Knaben die Telephalanx 1,2,3,4,5 und bei Mädchen die Basophalanx 1,2,3,4,5 die größte Interkorrelation aufweisen (15).

Um eine möglichst lückenlose Beobachtung des Knochenalters der Hand von Geburt an anstellen zu können, erscheint die Einbeziehung der Carpalia für notwendig. Dabei ist die Bewertung nach Geschlechtern getrennt anzustellen.

Geschlechtsunterschiede der Hand

Es ist allgemein bekannt, daß Geschlechtsunterschiede in Bezug auf das Größenwachstum und die Gewichtszunahme bestehen. GARN und ROHMANN (18) stellen fest, daß Mädchen im Alter von 1, 1 1/2 und 2 Jahren röntgenologisch doppelt so viele Knochenkerne aufweisen als Knaben. Nach HANSMANN und MARESH (25) weisen 64 % der Mädchen mit 5 Jahren 7 Knochenkerne auf, demgegenüber nur 5 % der Knaben. Erscheint das Os pisiforme bei Mädchen frühestens mit 5 1/2 Jahren, so bei Knaben erst mit 9 Jahren. SCHMID und MOLL (42) wiesen 1949 nur eine geringe Ossifikationsbeschleunigung der Mädchen gegenüber Knaben nach, und zwar hauptsächlich zur Zeit der Pubertät. Sie halten die Geschlechtsunterschiede der Ossifikation für die Praxis für bedeutungslos. Auch MARKUSKE (34) stellt nur einen geringen Vorsprung der Mädchen gegenüber Knaben fest.

Bei Mädchen erscheinen 24 von 29 Kernen innerhalb der ersten drei Lebensjahre, bei den Knaben in den ersten vier Jahren. In den Erscheinungsdaten zeigen die Mädchen einen Vorsprung von 0,4 bis 23 Monaten (19).

Ein eindeutiger Geschlechtsunterschied wurde von GARN und ROHMAN für das Erscheinen von Triquetrum, Multangulum majus und Multangulum minus beschrieben. Die Tabellen 2 und 3 zeigen die Variation im Erscheinen der Knochenkerne (16).

Der Ossifikationsabschluß findet bei normalentwickelten Knaben zwischen dem 183. und 208. Monat statt, bei Mädchen zwischen dem 159. und 170. (Ausnahme Radius- und Ulnaepiphysenschluß im 200. Monat).

Der Zeitpunkt dieses Ereignisses ist röntgenologisch schwer festzuhalten, da man ihn nicht voraussagen kann. Deshalb scheint eine Gegenüberstellung des Ossifikationsabschlusses einzelner Kinder für die Beurteilung der Skelettreife als wenig sinnvoll.

Nach der überwiegenden Meinung der Autoren ist bei der Auswertung von Röntgenbildern nach Knaben und Mädchen zu unterscheiden. Es sollten dabei Atlanten verwendet werden, die diesem Unterschied Rechnung tragen.

Endogene und exogene Beeinflussung der Ossifikation

Der Ablauf der Ossifikation ist genetisch weitgehend determiniert. Er wird hormonal gesteuert. Er ist aber auch durch äußere Faktoren zu beeinflussen.

Einen Zusammenhang der Ossifikation mit den Erbanlagen stellte PRYOR bereits 1908 heraus. Weitere Autoren wie BUSCHKE 1934 und REYNOLDS 1943 stimmen darin überein.

In die Knochenentwicklung greifen Unter- und Überfunktion von Schilddrüse, Nebennierenrinde und der Gonaden regulatorisch ein. Ein auffälliger Rückstand des Knochenalters ist bei der Unterfunktion der Schilddrüse zu bemerken, eine deutliche Acceleration beim Adrenogenitalen Syndrom.

MELLMANN und BONGIOVANNI (35) fanden bei 95 Kindern in 30 % der Fälle endokrine Einflüsse auf das verzögerte Knochenalter; den überwiegenden Teil davon stellt das Krankheitsbild der Hypothyreose dar. Konstitutionelle Frühreife beschleunigte bei 55 Kindern das Knochenwachstum, in einem geringeren Teil auch die Adipositas und das Adrenogenitale Syndrom.

Chronische Krankheiten, Unterernährung, primordialer Minderwuchs und Rachitis können sich gelegentlich verzögernd auf das Knochenalter auswirken (18) (24).

ACHESON (1) findet, daß leichtgewichtige Kinder langsamer reifen als schwere.

Nach MOLL können infantile Zerebralschäden, Chondrodystrophie, Mongolismus, enchondrale Dystosen und Avitaminosen zu Veränderungen im Handskelett führen (42).

ROTCH (40) vermutete 1908 einen Zusammenhang zwischen dem Knochenalter und dem Schulalter eines Kindes.

MARKUSKE (34) berichtet von Krippenkindern, die sowohl in der Anzahl der erschienenen Knochenkerne als auch in ihrer Größenentwicklung einen Rückstand gegenüber den in der Familie aufgewachsenen Kindern zeigen. Dabei ist ein deutliches Zurückliegen der Radiusepiphyse bemerkenswert. Wachstumsstörungen bei Kindern aus schlechtem psychosozialem Milieu werden auch von PATTON und GARDNER (36) beschrieben.

METHODEN ZUR KNÖCHENALTERBESTIMMUNG

Quantitative Methoden

Numerische Methoden

Von SONTAG zuerst vorgeschlagen, von VOGT, VICKERS, SNELL, ANDERSON, LIPFORD, LURIE und LEVY weiter ausgearbeitet zählt man bei numerischen Verfahren die sekundären Ossifikationszentren, die bereits erschienen sind (zit. n. 40 u. 18).

Bei dem Verfahren von ELGENMARCK (8) muß hierfür eine ganze Körperhälfte eines Kindes geröntgt oder Röntgenaufnahmen von 7 Körperregionen angefertigt werden. Die damit verbundene hohe Strahlenexposition ist nicht vertretbar, ferner ist der Zeitaufwand groß, ebenso die Kosten. Röntgenologische Skelettreifebestimmungen müssen oft mehrmals durchgeführt werden, auch wenn nach der bekannten Sequenz des Erscheinens der Ossifikationszentren in den letzten Jahren der Kindheit auf einzelne Regionen verzichtet werden kann.

GARN stützt sich in seiner "Fels Study" auf die aussagekräftigsten Kerne eines oder weniger Körperareale, da nur einige der 73 Kerne des Körpers eine genügend große Aussagekraft besitzen. Bei Knaben erscheinen vor dem 6. Lebensjahr 60, bei Mädchen sogar 65 der 73 Knochenkerne. Die Phalangen, Metacarpalia und Metatarsalia stellen davon die Hälfte der Kerne. Im Alter von 1 1/2 bis 2 Jahren ist die Variation der Zahl der Knochenkerne besonders groß; sie kann bei Knaben 14 bis 51 Kerne betragen. Dies zeigt, wie schwierig und ungenau diese Methode in einem wichtigen Entwicklungsabschnitt des Kindes ist.

GARN entwickelt eine Zählmethode für die Hand von 1 Monat bis 120 Monate; durch ihre Ungenauigkeit ist sie heute nur noch selten in Gebrauch. Sie kann jedoch nach GARN "in bestimmten Fällen bei Kindern jenseits p3 und p95 nützlich und anwendbar sein" (18).

Chronologische Methode

Nach SAUVEGRAIN (40) wurde die numerische Methode durch die chronologische verbessert. Hierbei wird das Knochenalter nach dem oder den zuletzt erschienenen Ossifikationszentren angegeben, deren "normales" Erscheinen in den Listen mit verschiedenen Perzentilewerten angegeben ist. Tabellen wurden für verschiedene Körperregionen ausgearbeitet, in denen auch Grenzwerte des Erscheinens angegeben sind. GARN, ROHMANN und SILVERMAN (19) arbeiteten die hierzu am besten geeignete Anweisung aus.

Obwohl die chronologische Methode ein genaueres Knochenalter angibt als die numerische, birgt sie den Nachteil in sich, den Altersabschnitt von 5 - 12 Jahren unberücksichtigt lassen zu müssen.

Beide Methoden, die numerische und chronologische, gehen zählend vor, ohne die wichtigen Veränderungen von Form und Größe der Knochenkerne zu beachten.

Metrische Methoden

Diese Methoden versuchen, durch die Bestimmung der Länge-Breite-Relation als lineare Messung oder durch die Bestimmung der radiographischen Fläche als planimetrische Messung eine Aussage über den Reifegrad des Skeletts zu machen.

Lineare Methode

STETTNER, MUNK, FLORY, TODD, SCHMID, SCHMID und MOLL und KONRAD nahmen die Größe des Handskeletts als Kriterium zur Beurteilung einer normalen oder gestörten körperlichen Entwicklung (zit. n. 44). Sie versuchten, die Länge und Breite der einzelnen Knochenkerne zu messen und daraus einen Standard abzuleiten. Als Voraussetzung für vergleichbare Meßergebnisse wird eine standardisierte Untersuchungs- und Meßtechnik angesehen.

SCHMID und MOLL haben 1960 Standards für lineare Größenentwicklungen publiziert, allerdings nicht zwischen Knaben und Mädchen unterschieden (42). Sie konzentrieren sich auf die Carpalia und die Daumen-, Radius- und Ulnaepiphyse.

Eine auf die Längsachse des III. Metacarpale ausgerichtete Millimeterfolie soll das Ausmessen erleichtern. Die größte Höhe und Breite sämtlicher Carpalia sowie der distalen Radiusepiphyse werden gemessen.

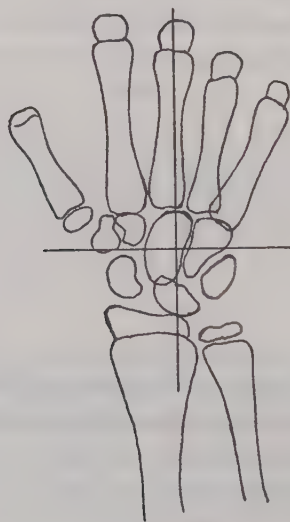


Abb. 1: W. SCHULTE-BRINKMANN, R.M. KONRADS, F. EHLERS
Vergleichende Untersuchungen zur linearen und plani-
metrischen Messung von Handwurzelknochen (45).

Man erwartet so genauere Meßwerte, da eine genormte Technik verwendet wird, als durch individuelles Herausfinden der maximalen Höhe und Breite.

SCHMID und MOLL messen in Richtung des jeweiligen Fingerstrahles aus und halten die lineare Bestimmung des Größenwachstums der Hand bis zum 10. Lebensjahr für eine brauchbare Methode zur

Knochenalterbestimmung. Zwischen 10. und 14. Lebensjahr stellt sie nach deren Ansicht das entscheidende Kriterium der Knochenalterbestimmung dar. Aus der Summe von Höhe und Breite wird der sogenannte Flächenindex bestimmt. Da nach der Studie von GARN et al. den Carpalia eine geringere Aussagekraft zukommt (19), verbesserten EKLÖF und RINGERTZ die Methode durch Auswahl der zehn repräsentativsten Knochenkerne (9). GRAHAM (20) und ACHESON (1) kritisieren, daß sich SCHMID und MOLL bei der Auswertung nur auf die Carpalia stützen. Verschiedene Autoren halten diese Ergebnisse für enttäuschend, da sie zu sehr von der Körpergröße abhängig sind. Wie BUDLIGER (3) kritisieren sie die alleinige Betonung der Größenzunahme.

Nach SCHULTE-BRINKMANN und KONRAD (44) gestattet die Größenbestimmung der einzelnen Handwurzelknochen eine genaue Aussage in den ersten Lebensmonaten und -jahren.

Das lineare Verfahren gibt keinen genauen Aufschluß über den Flächeninhalt des Knochenschattens auf dem Röntgenbild. Die Frage, ob durch planimetrische Ausmessung eine exaktere Größenbestimmung und somit eine sichere Beziehung zur allgemeinen somatischen Entwicklung gegeben ist, liegt nahe.

Planimetrische Methode

Die planimetrische Methode versucht eine exakte Größenbestimmung des Knochenalters, mit der Einschränkung, daß die Ausmessung des Flächeninhalts keinen Aufschluß über die wirkliche räumliche Ausdehnung der Knochenkerne geben kann, da sich die dritte Dimension auf dem Röntgenbild nicht erfassen läßt.

Bei der planimetrischen Methode werden die Handwurzelknochen vergrößert und nachgezeichnet. Hierzu werden bestimmte Knochenkerne ausgewählt: a) distale Radiusepiphyse, b) distale Ulnaepiphyse, c) Os capitatum, d) Os hamatum, e) Os triquetrum, f) Os scaphoideum, g) Metacarpale - I - Epiphyse, h) Os trapezium, i) Os trapezoideum, j) Os lunatum. Diese Knochenkerne werden planimetriert. Man benutzt dazu sogenannte Planimeter, wie zum

Beispiel das Ott-Polar-Planimeter. Die Größe der projizierten Fläche ergibt dann beim Vergleich mit den Tabellenwerten das Einzelknochenalter für den betreffenden Knochen.

Aus dem arithmetischen Mittel der Einzelknochenalter ergibt sich dann ein mittleres carpometrisches Knochenalter, das direkt mit anderen Entwicklungsaltern verglichen werden kann.

Mit der carpometrischen Knochenalterbestimmungsmethode lassen sich vor allem auch kurzfristige Zuwachsraten bestimmen, deren Beobachtung in der klinischen Praxis von Bedeutung sein kann.

SCHULTE-BRINKMANN et al. (45) weisen eine enge positive Korrelation zwischen linearer und planimetrischer Auswertung nach. Sie ziehen daraus den Schluß, daß die planimetrische Erfassung der Fläche für die Größenbestimmung der Knochenkerne im Röntgenbild der einfachen linearen Auswertung nicht überlegen ist.

Alter in Jahren	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Flächenindex M.W. in mm	27,1	27,8	29,7	32,5	34,4	35,7	37,5	40,2	42,1	43,3
$\pm \sigma$	1,8	2,6	2,3	2,7	3,0	2,6	2,3	2,4	3,6	3,6
Fläche M.W. in cm ²	1,41	1,49	1,66	1,98	2,19	2,38	2,54	2,91	3,25	3,39
$\pm \sigma$	0,18	0,27	0,29	0,32	0,36	0,35	0,27	0,28	0,56	0,60

Tab. 6: Mittelwerte und ihre Standardabweichung des Flächenindex (Summe aus größter Höhe und Breite) und planimetrisch ermittelter Flächen des Os capitatum bei 247 Kindern im Alter zwischen 6 und 15 Jahren
(aus W. SCHULTE-BRINKMANN, R.M. KONRAD, F. EHLERS (45))

Mit den metrischen Verfahren kann kein echtes Knochenalter ermittelt werden. Nur in jüngeren Lebensjahren bedeutet eine Größenzunahme der Knochenkerne Reifung, in späteren Jahren wird durch die

Messung nur noch Wachstum und nicht mehr Differenzierung erfaßt. Die Endgröße eines Kindes wird sich bei diesen Methoden in höheren Lebensaltern immer stärker auswirken.

Aus diesem Grunde können die metrischen Methoden nur als zusätzliche Hilfe zu den morphischen Knochenaltern angesehen werden.

Morphologische Methoden

Das kindliche Handskelett zeigt röntgenologisch 28 Ossifikationszentren (ohne Adductor-Sesamoid des Daumens). Diese machen vom Zeitpunkt ihres Erscheinens bis zum Epiphysenschluß charakteristische Form- und Strukturveränderungen durch. Ihre formalen Entwicklungsstufen sind gleich, ihre Reihenfolge kann variieren. Die Entwicklungsstufen bei Kindern verschiedener Rasse und Herkunft sind gleich und können aus diesem Grunde als Reifekriterien angesehen werden.

Der Reifebestimmung nach Form und Struktur, also den morphologischen Methoden, wird heute allgemein der Vorzug gegeben. Diese Reifekriterien wurden von MELLMANN (35) und TODD (55), später von GREULICH und PYLE (23) beschrieben, TANNER und WHITEHOUSE (51) sowie ACHESON (1) haben sie übernommen.

Am häufigsten werden die Methoden von GREULICH und PYLE (23) und TANNER und WHITEHOUSE (51) benützt. Sie sind während der gesamten Altersentwicklung anwendbar (39).

Bei den morphologischen Auswertungsmethoden sind die Bone-Specific-Bone-Age-Methode, die Atlas-Methode und die Score-Methode zu unterscheiden.

Bone-Specific-Bone-Age-Methode

Durch Beobachtung von Form- und Strukturveränderungen der einzelnen Ossifikationskerne bei wachstumsgesunden Kindern wurden die entscheidenden morphischen Kriterien herausgearbeitet. Alterstypische Röntgenbilder der Hand wurden in einem Atlas der Handskelettentwicklung zusammengestellt.

Der erste Atlas dieser Art wurde von FLORY 1936 (12) und - unabhängig davon - 1937 von TODD (55) publiziert. TODD konzentrierte sich auf die Epiphysen der langen Knochen. GREULICH und PYLE überarbeiteten das Werk und fügten die Carpalia hinzu. Als Standardwerk der Skelettalterbestimmung erschien 1950 die erste Auflage des "Radiographic Atlas of Skeletal Development of the Hand and Wrist" (23), 1959 die zweite Auflage (22). GREULICH und PYLE haben die Formveränderungen der folgenden Knochenkerne beschrieben und besonders auffallende Etappen in verschiedenen Ereignissen festgehalten:

Radiusepiphyse distal, Ulnaepiphyse distal, Os capitatum, Os hamatum, Os triquetrum, Os pisiforme, Os lunatum, Os naviculare, Os trapezium, Metacarpale-I-Epiphyse, Metacarpale-II-Base, Epiphysen der Metacarpalia II, III, IV, V, proximale Daumenepiphyse, proximale Phalanx Epiphysen der Finger II, III, IV, proximale Phalanx-Epiphyse des V. Fingers, Mittel-Phalanx-Epiphysen der Finger II, III, IV, V, distale Phalanx-Epiphyse des Daumens, distale Phalanx-Epiphyse der Finger II, III, IV, V. Nach Knaben und Mädchen getrennt, haben sie jeder Stufe der Formentwicklung einen bestimmten Standard zugeordnet, der sich in ein definiertes Einzelalter umwandeln läßt. Dabei geht man wie folgt vor:

Die Röntgenaufnahme der linken Hand eines Kindes wird "Knochenkern für Knochenkern" mit den schematischen Zeichnungen der Entwicklungsstufen der einzelnen Knochenkerne und der dazugehörigen Beschreibung der einzelnen formalen Kriterien verglichen und so für jeden einzelnen Knochenkern ein Entwicklungsstandard gefunden. Wir verwendeten dazu das von Fendel erarbeitete Formblatt zur "Abschätzung des Knochenalters nach GREULICH-PYLE" (Abb. 2). Aus diesen Einzelstandards wird der Zentralwert bestimmt und in Monate des Knochenalters umgewandelt. Von GREULICH und PYLE sind für jede Entwicklungsstufe zwei Standards angegeben.

Bei fettgedruckten Standards wird dieser zur Wahl empfohlen, bei nicht fettgedruckten soll der Auswerter selbst die Wahl treffen, welchen Standard er nimmt. In der vorliegenden Auswertung wurde der jeweils höhere Standard genommen, sofern der niedrigere nicht fettgedruckt war.

Interpolationen wie bei der planimetrischen Methode sind hier

nicht möglich. Entwicklungen innerhalb kurzer Zeiträume lassen sich somit nicht beurteilen. Dies ist ein methodenspezifischer Nachteil, den ACHESON (2) für schwerwiegend hält.

Es gibt außerdem Zeiträume, in denen die Grenzen von einem zum anderen Standard sehr verschwommen sind.

Beim Vergleichen des Röntgenbildes mit den Strichbildern und Beschreibungen ist ein subjektiver Einfluß nicht zu vermeiden.

Atlasmethode

Die Röntgenaufnahme der Hand wird nach Knaben und Mädchen getrennt mit den Standardabbildungen des Atlas verglichen. Man gelangt so zu einem summarischen Urteil, welcher abgebildeten Hand die vorliegende Hand am ähnlichsten ist (overall estimation). Der diesem Atlasbild zugeordnete altersspezifische Standard ergibt das gesuchte Knochenalter.

Score-Methoden

Um die bei der Methode von GREULICH und PYLE oft entstehenden verhältnismäßig großen Intervalle zu vermeiden, entwickelte ACHESON (2) ein Punkte- oder Scoresystem. Unter Verwendung der Indikatoren von GREULICH und PYLE ordnet ACHESON jeder Entwicklungsstufe einen Punktwert zu und verwendet anstelle von Monaten sogenannte 'Oxford-Units'.

TANNER und WHITEHOUSE (51) entwickelten diese Methode über das 5. Lebensjahr hinaus. Ihr erstes Scoresystem erschien 1962. Später soll auf die Methode zur Knochenalterbestimmung nach TANNER und WHITEHOUSE noch näher eingegangen werden.

MINDERWUCHS

Die Begriffe Zwergwuchs und Kleinwuchs werden häufig synonym verwendet, obwohl der Zwergwuchs die stärkere Hemmung des Wachstums darstellt. Aus Gründen der Vereinfachung ist es empfehlenswert, bei einer pathologischen Hemmung des Wachstums allgemein von Minderwuchs zu sprechen.

Die Größe der Kinder mit Minderwuchs liegt unterhalb der 3. Perzentile der Normverteilung.

Nach TELLER (54) kann zwischen scheinbar endokrinem und endokrinem Minderwuchs unterschieden werden. Häufig sind Kinder mit einer konstitutionellen Entwicklungsverzögerung von Geburt an zarter und schwächer als ihre Altersgenossen. Ihre Größen-, Gewichts- und Skelettentwicklung bleibt harmonisch hinter dem chronologischen Alter zurück. Dies führt dazu, daß sie verspätet in die Pubertät eintreten, diese aber ohne Störungen durchlaufen. Aufgrund des späten Schlusses der Epiphysenfugen ist die Wachstumsperiode besonders lang (bis etwa 20.-23. Lebensjahr). Dadurch erreichen diese Patienten in der Regel schließlich doch eine normale Erwachsenengröße. Mitunter liegt eine familiäre Häufung dieser konstitutionellen Entwicklungsstörung vor, was zur Abgrenzung gegenüber dem hormonal bedingten Minderwuchs verwertet werden kann (54).

Zum scheinbar endokrinen Minderwuchs zählt nach TELLER (54) auch der primordiale oder genetische Minderwuchs und die Gonadendysgenese (Turner Syndrom). Beim primordialen Minderwuchs zeigen die Patienten ein Knochenalter, das dem chronologischen Alter entspricht. Die Pubertät tritt zum normalen Zeitpunkt ein, daher ist das Wachstumsresultat schlecht; die Kinder sind und bleiben klein. Auch hierbei ist der Minderwuchs häufig familiär.

Beim Turnersyndrom treten die minderwüchsigen Mädchen nicht in die Pubertät ein. Ihre Gonaden sind unterentwickelt, da ein Geschlechtschromosom fehlt (XO-Syndrom).

Ein echter endokriner Minderwuchs wird am häufigsten verursacht durch eine Hypothyreose. Bei der meist hypophysär ausgelösten

Pubertas praecox und der mit dem Adreno-Genitalen-Syndrom in Verbindung stehenden Pseudopubertas praecox sind die Kinder zunächst größer als ihre Altersgenossen. Da aber nicht nur die Größen-, sondern auch die Skelettentwicklung gegenüber der Norm beschleunigt ist, ist das Wachstumsergebnis nach einem vorzeitigen Epiphysenschluß schlecht.

Eine Hypophysenvorderlappeninsuffizienz (Hypophysärer Minderwuchs) und der spontane Hypercorticismus (Cushing Syndrom) hemmen sowohl die Knochenkernentwicklung als auch das Wachstum

Knochenerkrankungen:

z.B. Chondrodystrophien, Rachitis, Osteogenesis imperfecta

System- und Stoffwechselerkrankungen:

z.B. Gehirn-, Nieren-, Herz-, Lungen-, Darm-,
Blutkrankheiten;
erbliche Stoffwechselkrankheiten;
chronische Infektionskrankheiten

Endokrine Erkrankungen:

Hypothyreose;
Pubertas praecox;
Pseudopubertas praecox;
Hypophysenvorderlappeninsuffizienz;
Cushing-Syndrom

Scheinbar endokrine Erkrankungen:

Konstitutionelle Entwicklungsverzögerung;
Primordialer oder genetischer Minderwuchs:
symmetrischer Typ,
asymmetrischer Typ
Gonadenaplasie (Turner-Syndrom)

Tab. 7: W.TELLER

Echter und scheinbar endokriner Minderwuchs (54)

EIGENE UNTERSUCHUNGEN

PATIENTENGUT

Der Arbeit liegen Röntgenaufnahmen von 519 Kinderhänden zugrunde. Die Körpergröße dieser Kinder liegt unter Perzentile 3. Sie wurden zur Auswertung aus dem Archiv der Universitäts-Kinderklinik München und Tübingen herausgenommen.

Die Körpergröße wurde nach den Perzentilekurven von STUART und STEVENSON (48) beurteilt.

Da bei dem vorliegenden Patientengut mit seiner speziellen Altersverteilung mit einer schiefen Verteilung zu rechnen ist, wurden die amerikanischen Perzentiletafeln benutzt, da andere für deutsche Kinder fehlen. Die Angabe in Standardabweichungen würde eine Gauss'sche Verteilung der Körpergröße voraussetzen. In Prozentwertkurven geben die neben der Medianwertkurve (50er Perzentile) vorhandenen Kurven an, wieviel der Kinder kleiner bzw. größer sind. Dabei wird der Bereich zwischen der 3er und 97er Perzentile als Normalbereich betrachtet (Abb. 3 und 4). Bei dieser Arbeit handelt es sich um Kinder, die unterhalb der 3er Prozentwertkurve liegen.

Wie aus der Abbildung 5 und der Tabelle 8 zu ersehen ist, liegt der weitaus größte Teil der untersuchten Kinder unter der Perzentile 3; nur 2,2 % sind größer.

Zum Teil lag nur eine Röntgenaufnahme der Hand eines Kindes vor, in der Regel waren es mehr Aufnahmen. Ein systematischer Therapieverlauf und eine Familienanamnese konnten nicht verfolgt werden. Es mußte somit vorausgesetzt werden, daß es sich bei den Kindern um solche mit nicht endokrinem Minderwuchs handelt.

In 497 Fällen stammten die Röntgenaufnahmen von linken Händen, in 22 von rechten. Da diese einen Anteil von 4,4 % ausmachen, wurde dieser Unterschied vernachlässigt.

Da das Gewicht, wie eingangs erwähnt, größeren Schwankungen unterworfen ist, zeigt Abbildung 6 eine Streuung innerhalb der Prozent-

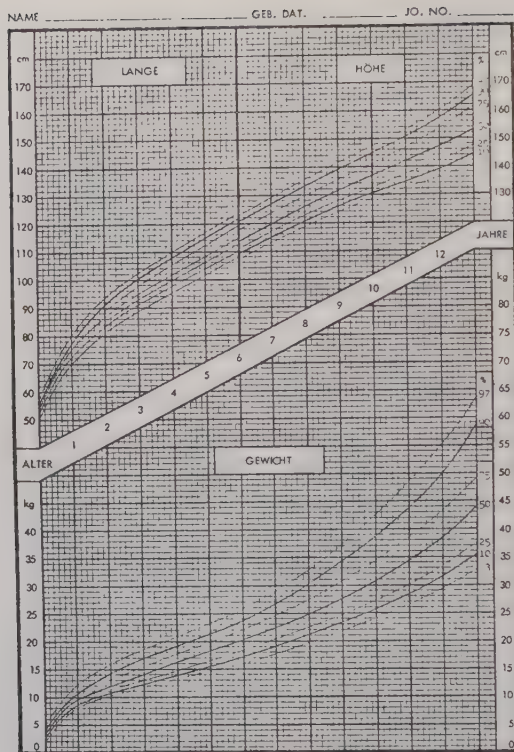


Abb. 3: Längen- und Gewichtsentwicklung von Knaben, dargestellt in Perzentilekurven nach STUART und STEVENSON (aus BETKE et al. "Elementare Pädiatrie", Stuttgart: Thieme Verlag 1974)

Die Abbildung zeigt eine Gegenüberstellung der Längen- und Gewichtsentwicklung von Knaben in Prozentwertkurven für die Perzentilen p3, p10, p25, p50, p75, p90, p97, in den ersten 12 Lebensjahren.

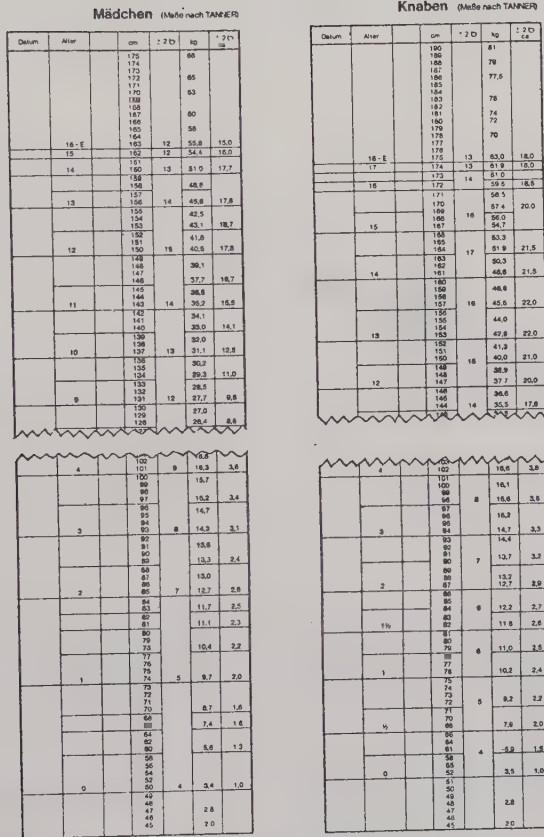


Abb. 4: Längen- und Gewichtsentwicklung von Knaben und Mädchen, dargestellt in Somatogrammen

(aus BETKE et al. "Elementare Pädiatrie", Stuttgart: Thieme Verlag 1974)

Die Abbildung zeigt eine Gegenüberstellung der Längen- und Gewichtsentwicklung von Knaben und Mädchen mit ihren 2 Standardabweichungen in den ersten 4 Lebensjahren und vom 9. bis 16. Lebensjahr bei Mädchen, beziehungsweise vom 12. bis 18. Lebensjahr bei Knaben.

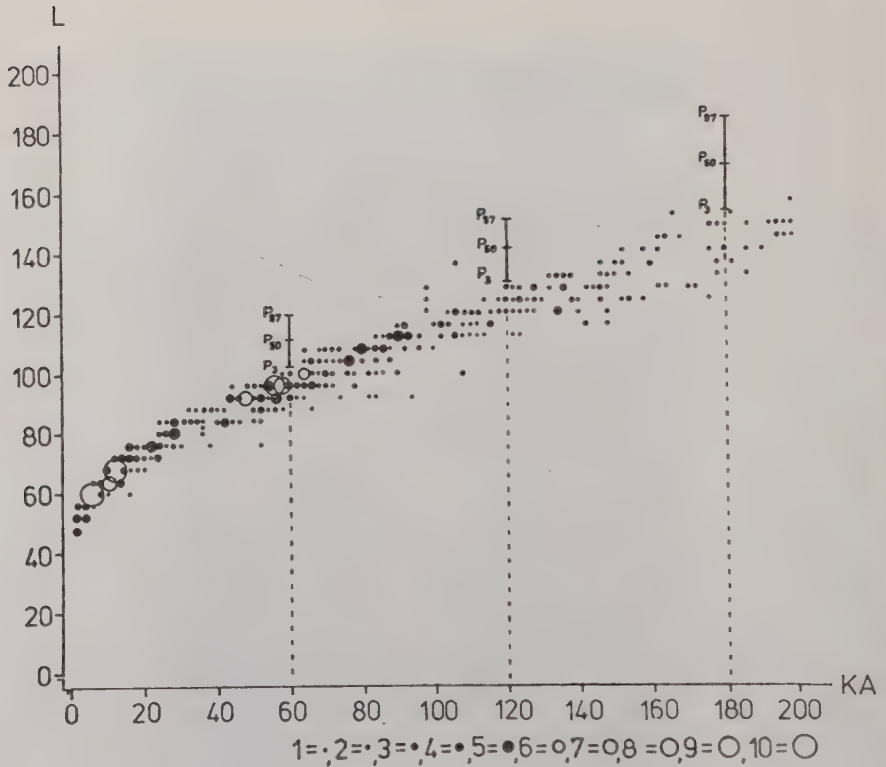


Abb. 5: Verteilung der Körpergrößen in Bezug zur dritten Perzentile

Körpergröße	Anzahl der Kinder	proz. Anteil
größer P 3	11	2,2 %
gleich P 3	12	2,3 %
kleiner P 3	496	95,5 %

Tab. 8: Verteilung der Körpergröße der untersuchten Kinder in Bezug zur dritten Perzentile

wertkurve; es ist die Tendenz ersichtlich, daß nichtendokrin-min-
derwüchsige Kinder auch mit ihrem Gewicht unterhalb der 3. Perzen-
tile liegen.

Geschlechtsverteilung

320 Aufnahmen, das sind 61,7 %, stammen von Knaben, 199 Aufnahmen
oder 38,3 % von Mädchen.

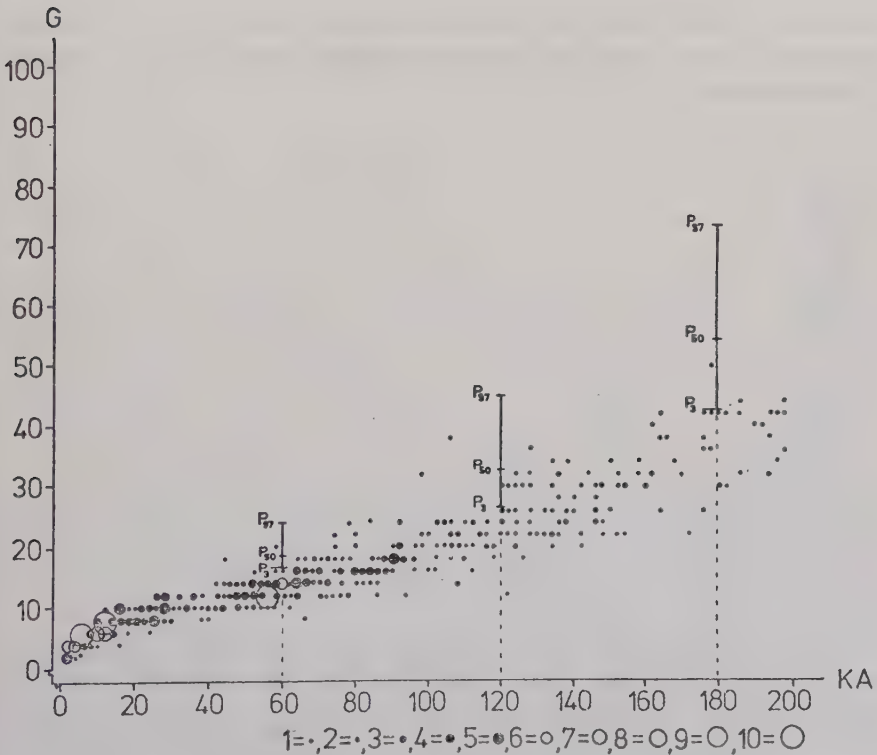


Abb. 6: Verteilung des Körpergewichts in Bezug zur dritten Per-
zentile

Gewicht	Anzahl der Kinder	proz. Anteil
größer P 3	27	5,2 %
gleich P 3	12	2,3 %
kleiner P 3	490	92,5 %

Tab. 9: Verteilung des Körpergewichts der untersuchten Kinder in Bezug zur dritten Perzentile

Altersverteilung

Abbildung 7 zeigt, daß 12 % der untersuchten Kinder 0 - 10 Lebensmonate, 39 % 40 - 90 Lebensmonate alt sind; 49 % waren älter als 90 Lebensmonate.

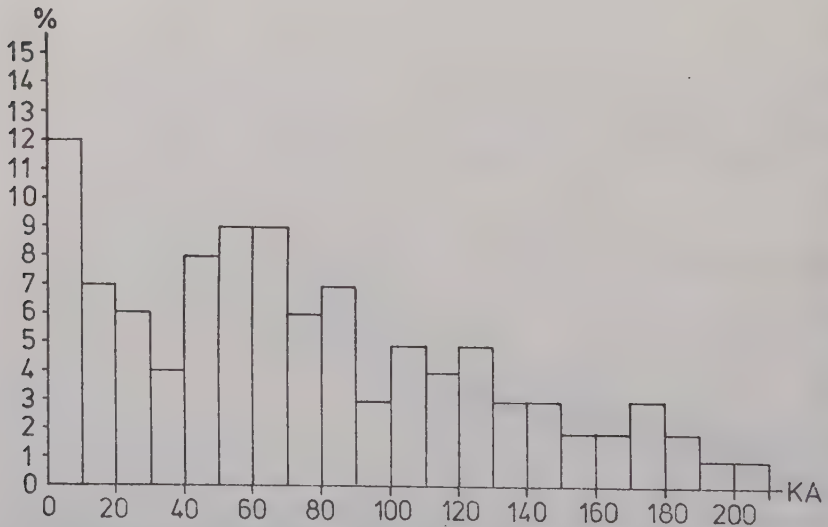


Abb. 7: Häufigkeitsverteilung des Kalenderalters, Klassenbreite 10 Monate. Die Verteilung zeigt eine deutliche Linksverschiebung, das heißt eine Häufung kleiner Kalenderalter.

Die Darstellung zeigt eine ungleichmäßige Verteilung der untersuchten Kinder auf die verschiedenen Altersgruppen. Die untersten Altersgruppen stellen den größten Teil des Patientengutes.

METHODIK

Auswertung nach der planimetrischen Methode

Für die carpometrische Methode projiziert man die Röntgenaufnahme der Hand auf Papier, vergrößert sie im Maßstab 1:4 oder 1:5 und zeichnet die Umrisse der zur Auswertung benötigten Knochen nach. Das Umfahren der Linien mit dem Ott-Planimeter ergibt die Fläche der Einzelkerne. Jedem Flächenwert kommt unter Berücksichtigung des Vergrößerungsmaßstabes ein Einzelknochenalter zu. Das mittlere Knochenalter ergibt sich aus dem arithmetischen Mittel der Einzelknochenalter.

Es wurde die Größe folgender Kerne bestimmt:

Capitatum	Lunatum
Hamatum	Os trapezium
Radiusepiphyse	Os trapezodeum
Daumenepiphyse	Naviculare
Triquetrum	Ulnaepiphyse

Diejenigen Knochenkerne, die noch nicht erschienen waren, deren Wert des Erscheinens jedoch kleiner als das mittlere Knochenalter war, wurden so behandelt, als wären sie soeben erschienen.

Das mittlere Knochenalter (in Monaten) wurde mit dem Kalender-, Längen- und Gewichtsalter verglichen. Die jeweilige Abweichung wurde in Prozent des Kalenderalters angegeben. Bei vorausgegangen, vorhandenen Daten wurde die Zuwachsrate als Quotient aus Knochenalterszuwachs gegen Lebensalterszuwachs berechnet (11).

Auswertung nach der Methode von TANNER-WHITEHOUSE

Es kam die Methode von TANNER-WHITEHOUSE (T/W I) aus dem Jahre 1962 zur Anwendung. Die Verfasser ergänzten und verbesserten diese Methode in ihrer Veröffentlichung aus dem Jahre 1972 (T/W II).

Die der Arbeit zugrundeliegenden Röntgenfilme wurden nach der T/W I-Methode ausgewertet.

Die Knochenkerne werden in der Reihenfolge:
Radius, Ulna, Metacarpale 1,3,5, Basophalanx 1,3,5, Mesophalanx 3,5, und Telephalanx 1,3,5, sowie Capitatum, Hamatum, Triquetrum, Lunatum, Naviculare, Os trapezium und Os trapezoideum behandelt.
Abbildung 8 zeigt das Formblatt "zur Abschätzung des Knochenalters nach TANNER-WHITEHOUSE", ausgearbeitet von FENDEL.

Abschätzung des Knochenalters nach TANNER-WHITEHOUSE

Name:		Geb. Dat.:				Unt. Dat.:			
Bew. PZ		Bew. PZ							
Repi			Capi			Kal. A.			
Ulnepi			Hama			Gew. A.			Zuw. Rate:
Meta 1			Tri			Löng. A.			Zuw. Rate:
Meta 3			Luna			Oss. A.			Zuw. Rate:
Meta 5			Navi						
Baso 1			Muma			Länge:			Zahl der vorausgehenden
Baso 3			Mumi			Gewicht:			Oss. Alter
Baso 5			Carpalia PZ			Bemerkungen:			
Meso 3			Übertrag EPZ						
Meso 5			Ges. PZ						
Tele 1			Perzentile			Diagnose:			
Tele 3			Ossif. Alter-Äquivalent in Dezimalschreibung			Therapie:			
Tele 5						Name des AuswerTERS:			
Epiph. PZ			Perzentile						

Bew. = Bewertung (Rating); PZ = Punktzahl (self-weighting maturity score); Epiph. PZ = Punktzahlsumme der Epiphysen (Long bone score); Carpalia PZ = Punktzahlsumme der Carpalia (Round bone score); Gesamt PZ (Overall score)

Abb. 8: Formblatt zur "Abschätzung des Knochenalters nach TANNER-WHITEHOUSE", ausgearbeitet von FENDEL

In ihrem Atlas haben TANNER und WHITEHOUSE die einzelnen Entwicklungsstufen jedes einzelnen Knochens in Skizzenform dargestellt und mit einem erläuternden Text versehen. Sie wiesen ausdrücklich darauf hin, daß die Skizzen nur der Illustration des Textes dienen und nicht alleine zur Auswertung herangezogen werden dürfen.

Der Reifungsprozeß eines Knochens wird in den Stufen A - I (Radiusepiphyse A - J) unterteilt. Jede Stufe stellt ein Ereignis dar und wird mit den Kriterien i, ii und iii bezeichnet.

Die Verfasser geben dazu folgende Anleitung:

Ist nur ein Kriterium i vorhanden, so muß dieses im Röntgenbild Ausdruck finden, damit ausgesagt werden kann, daß der Knochenkern diese Stufe erreicht hat. Bei zwei angegebenen Kriterien i, ii muß mindestens eines davon auf dem Röntgenbild sichtbar sein, bei drei Kriterien i, ii, iii müssen es mindestens zwei sein.

Jeder Stufe wird ein sogenannter Punktwert zugeordnet. Dieser drückt sich für jeden Knochen in unterschiedlichen Zahlenwerten aus.

TANNER-WHITEHOUSE nehmen außerdem an:

- 1) Das Wachstum der "round bones" und "long bones" wird wahrscheinlich zu bestimmten Zeiten von verschiedenen Faktoren gesteuert.
- 2) Ein Finger besitzt den gleichen Aussagewert wie Radius und Ulna. Damit erhalten Radius und Ulna je 20 % Anteil von der Gesamtwertung; 1., 3. und 5. Finger als ganzer je 20 %. Auf die ganze Hand bezogen, erhält somit jeder Finger 10 % der Gesamtwertung, jeder Handwurzelknochen hingegen 7 %. Bei der Festlegung der Punktwerte (Score) ist dies berücksichtigt und in sie hineingearbeitet.
- 3) Der zweite und vierte Finger bleibt von der Auswertung ausgeschlossen; sie beschränkt sich damit auf 20 von 29 Knochen.

Um das Knochenalter der untersuchten Hand zu erhalten, addiert man die einzelnen Scorewerte und entnimmt das dieser Summe zugehörige Knochenalter einer Tabelle. Das Erwachsenenalter liegt für Mädchen bei 17 Jahren, für Knaben bei 19 Jahren.

Nach den Score-Alter-Tabellen stellen TANNER-WHITEHOUSE in Perzentilekurven Score Summenwerte in Abhängigkeit vom Kalenderalter für P5, P10, P50, P75 und P90 dar, so daß das Ergebnis, erbracht für 28 Knochen der Hand (ohne Pisiforme) nur geringfügig von dem, erbracht für 20 Knochen der Hand, abweicht, die beiden P50-Kurven verhalten sich identisch.

ERGEBNISSE

Obwohl es das "Längenalter" oder das "Gewichtsalter" eines Menschen nicht gibt, ist der Gebrauch dieser Begriffe für den Kliniker sehr nützlich. Das der Länge oder dem Gewicht zugeordnete "Alter" kann mit anderen Entwicklungsdaten in Bezug gebracht werden.

Verteilung des Längenalters

Abbildung 9 zeigt die Verteilung des Längenalters in Histogrammform. 468 Daten wurden von Originalstammkarten übernommen, eingegeben und dargestellt. Es wird eine Klassenbreite von 10 Monaten dargestellt. Die Verteilung zeigt eine positive Schiefe.

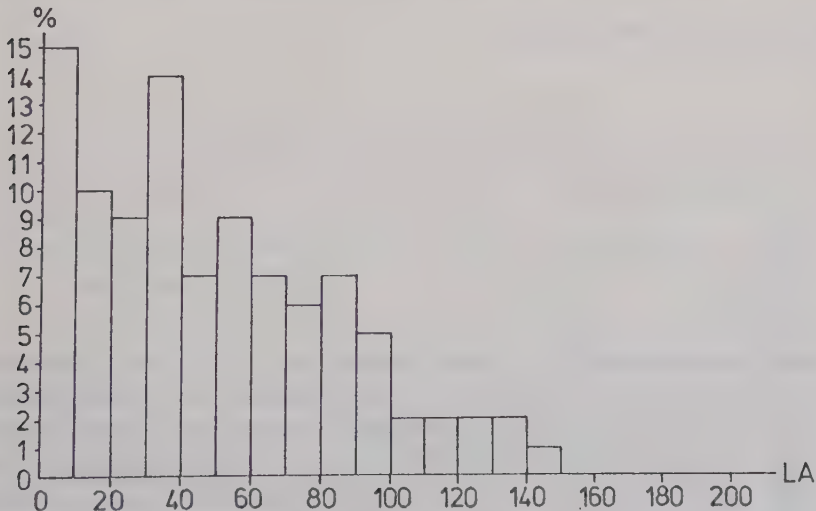


Abb. 9: Häufigkeitsverteilung des Längenalters, Klassenbreite 10 Monate.

Die Verteilung zeigt eine deutliche Linksverschiebung; sie ist stärker ausgeprägt als beim Kalenderalter.

Nach CAMPBELL (5) besitzt eine Verteilung dann eine positive Schiefe, wenn ihr "längerer Schwanz" rechts von der Klasse mit der größten Besetzung liegt, eine negative Schiefe, wenn er links der größten Besetzung ist.

65 % der Fälle häufen sich auf ein Längenalter bis zu 60 Monaten. In der Klasse zwischen 30 und 40 Monate zeigt das Längenalter eine Besetzung von 14 %.

Das Kalenderalter der Untersuchten endet bei 210 Monaten, ihr Längenalter bereits bei 150 Monaten; der Grund dafür liegt in der Auswahl minderwüchsiger Kinder.

Auf eine Darstellung des Gewichtsalters wurde verzichtet; ihm kommt im Vergleich zum Längenalter in dieser Arbeit weniger Bedeutung zu.

Verteilung des Knochenalters

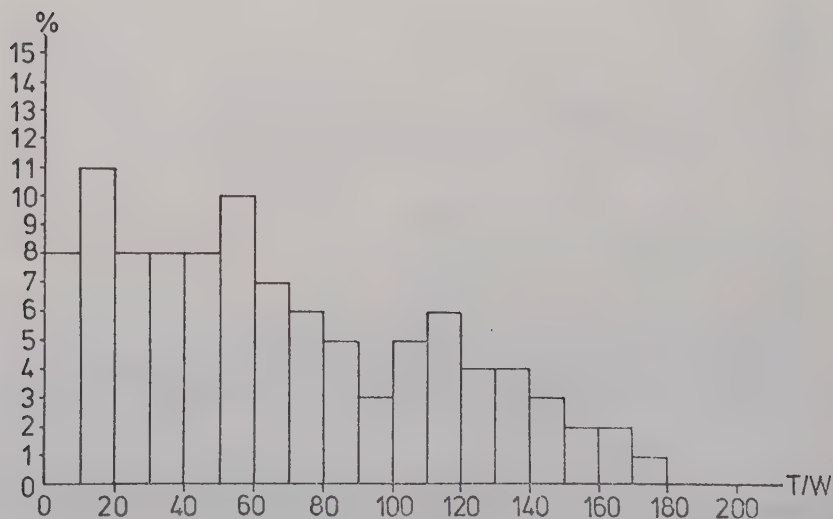


Abb. 10: Häufigkeitsverteilung des Knochenalters nach TANNER-WHITEHOUSE

Die prozentuale Verteilung des Knochenalters nach TANNER-WHITEHOUSE zeigt eine deutliche Häufung bis zu 60 Monaten; in dieser Spanne liegen 53 % der Fälle. Es zeigt sich eine gute Übereinstimmung mit dem Kalenderalter; dies fällt in den Klassen von 150 bis 180 Monaten auf.

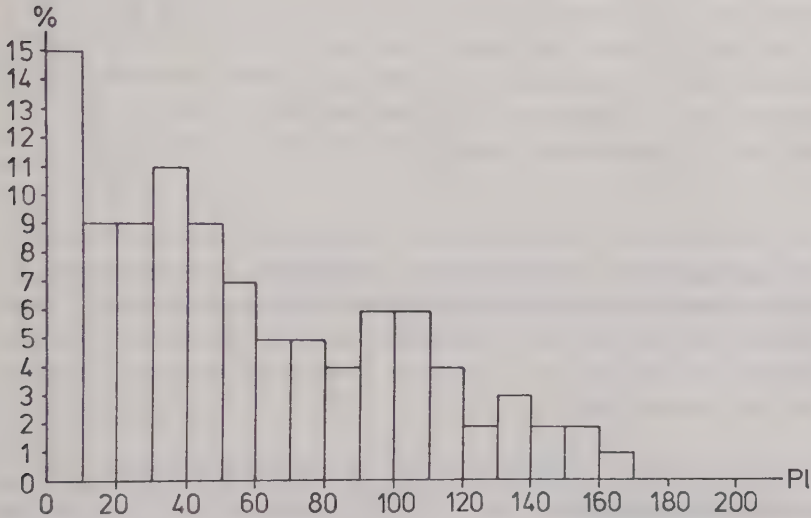


Abb. 11: Häufigkeitsverteilung des Knochenalters nach der planimetrischen Methode

Abbildung 11 zeigt die prozentuale Verteilung des planimetrischen Knochenalters. Hier befinden sich ebenfalls 60 % der Daten im Bereich der ersten 60 Monate. Eine deutliche Häufung ist in der ersten Klasse ersichtlich. Auf diese entfallen 15 % der Fälle des Knochenalters, ausgewertet nach der planimetrischen Methode gegenüber 8 % der Fälle des Knochenalters, ausgewertet nach TANNER-WHITEHOUSE.

Insgesamt zeigen beide Verteilungen eine Linksverschiebung; sie ist bei der planimetrischen Methode deutlicher als bei TANNER-WHITEHOUSE. Beide zeigen eine bessere Übereinstimmung mit dem Kalenderalter als mit dem Längenalter...

Alle dargestellten Verteilungen zeigen eine Linksverschiebung, das heißt eine Häufung der Alter zum Nullpunkt hin. Beim Kalenderalter liegt der Grund im Vorhandensein von mehr jüngeren als älteren Kindern. Im Vergleich zum Kalenderalter zeigt die Knochenaltersverteilung nach TANNER-WHITEHOUSE eine stärker ausgeprägte Schiefe, das heißt, das Knochenalter ist gegenüber dem Kalenderalter retardiert. Diese Schiefe ist bei der planimetrischen Methode noch stärker ausgeprägt, das heißt, daß diese Methode das Knochenalter geringer einschätzt als die TANNER-WHITEHOUSE-Methode. Die geringere Einschätzung beider Methoden - keine erreicht das Kalenderalter von 210 Monaten - liegt in der Auswahl des Patientengutes begründet. Dies tritt auch im Vergleich mit dem Längenalter hervor.

Wie die Abbildungen 9 und 11 zeigen, korreliert das Knochenalter nach der planimetrischen Methode in den ersten 5 Lebensjahren besser mit dem Längenalter als mit dem Kalenderalter. Diese Übereinstimmung ist zwischen dem Knochenalter nach TANNER-WHITEHOUSE und dem Längenalter in den ersten 60 Lebensmonaten nicht in gleicher Weise feststellbar.

Einzelknochenalter

Mit dem Einzelknochenalter versucht man eine Aussage über die Knochenkerne machen zu können, die sich durch statistische Berechnung besonders zur Bestimmung des Knochenalters eignen. Ein direkter Vergleich ist aber nicht möglich, da TANNER-WHITEHOUSE mit der Summe aller Einzelknochen das Knochenalter der Hand bestimmt und kein Einzelknochenalter angibt. Bei der planimetrischen Methode ist dies möglich, wie folgende Tabelle zeigt:

	Mittl. Knochenalter. (Monate)	Standardab- weichung (Monate)
Capitatum	60,9	4,258
Hamatum	62,3	4,369
Radiusepiphyse	66,9	4,390
Triquetrum	66,9	4,513
Daumenepiphyse	75,3	4,016
Lunatum	79,4	4,311
Trapezium	87,2	4,175
Trepezoideum	93,9	3,907
Naviculare	89,9	4,106
Ulnaepiphyse	107,4	3,343

Tab. 10: Mittlere Einzelknochenalter aller 519 Kinder nach der planimetrischen Methode mit ihren Standardabweichungen

Methodenalter

Das mittlere Knochenalter aller untersuchten Kinder beträgt nach der Knochenalterbestimmungsmethode von TANNER-WHITEHOUSE 71,5 Monate, nach dem planimetrischen Verfahren 62,6 Monate.

	Mittelwert	Standardab- weichung	Schiefe
Kalender-A.	79,2	52,3	5,4
Längen-A.	54,8	37,2	8,2
Gewichts-A.	55,0	41,8	9,9
Kno.-A. T/W	71,5	45,3	4,9
Kno.-A. pl.M.	62,6	43,7	6,3

Tab. 12: Gegenüberstellung der Mittelwerte mit ihren Standardabweichungen (beides in Monaten) und Schiefen für das Kalenderalter, Längenalter, Gewichtsalter, das Knochenalter nach TANNER-WHITEHOUSE und das Knochenalter nach der planimetrischen Methode.

Alle dargestellten Verteilungen besitzen eine positive Schiefe, das heißt, eine Häufung ihrer Werte zum Nullpunkt hin.

Das mittlere Knochenalter liegt nach der Knochenalterbestimmungsmethode von TANNER-WHITEHOUSE um 7,6 Monate unter dem Kalenderalter, der Korrelationskoeffizient ist 0,952; der Regressionskoeffizient beträgt 1,098.

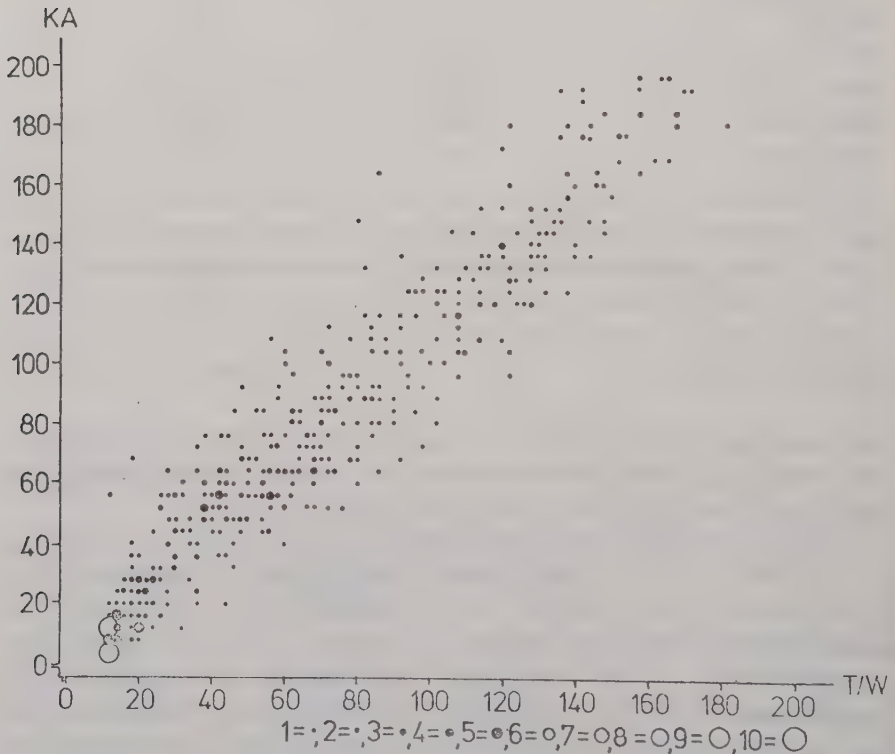


Abb. 12: Korrelationsdiagramm Kalenderalter - Knochenalter nach TANNER-WHITEHOUSE (Zahlenangaben in Monaten)

Bei der Betrachtung von Abbildung 12 fällt der Bereich zwischen 6 und 42 Monaten auf. Der Regressionskoeffizient nimmt hier mit

1,18 einen höheren Wert an als in der übrigen Verteilung, das heißt speziell in diesem Bereich liegt das Knochenalter nach TANNER-WHITEHOUSE unter dem Kalenderalter.

Das nach der planimetrischen Methode ermittelte mittlere Knochenalter liegt mit 62,6 Monaten um 16,5 Monate hinter dem Kalenderalter. Im Bereich von 0-12 Monaten beträgt der Regressionskoeffizient 2,33, von 14-42 Monaten 1,63. Für die ganze Verteilung beträgt er 1,009.

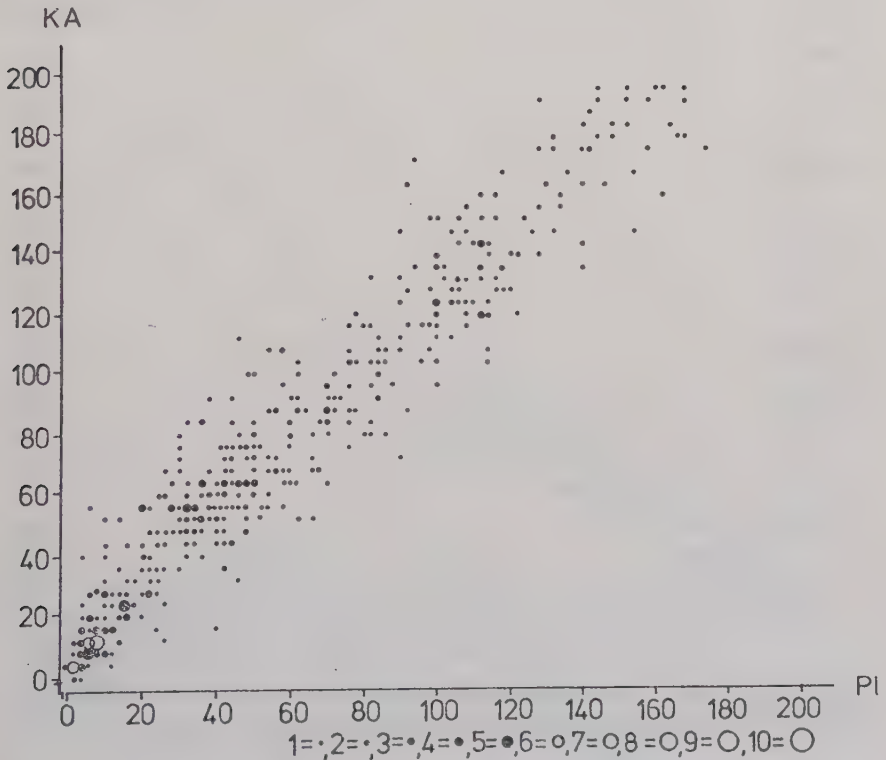


Abb. 13: Korrelationsdiagramm Kalenderalter - Knochenalter nach der planimetrischen Methode (Zahlenangaben in Monaten)

Abbildung 13 zeigt diese Relation deutlich und veranschaulicht, daß die Knochenalterswerte nach der planimetrischen Methode in den ersten 3 Lebensjahren unter den Kalenderalterswerten liegen.

Beide Methoden, sowohl die nach TANNER-WHITEHOUSE als auch die planimetrische, zeigen in ihren Zahlenwerten, daß die untersuchten Kinder in der Mehrzahl der Fälle nach diesen Methoden im Vergleich zum Kalenderalter jünger eingeschätzt werden, da sie aufgrund der Art des Minderwuchses in der Knochenkernentwicklung zurückgeblieben sind. Dies tritt in verstärktem Maße bei der planimetrischen Methode hervor.

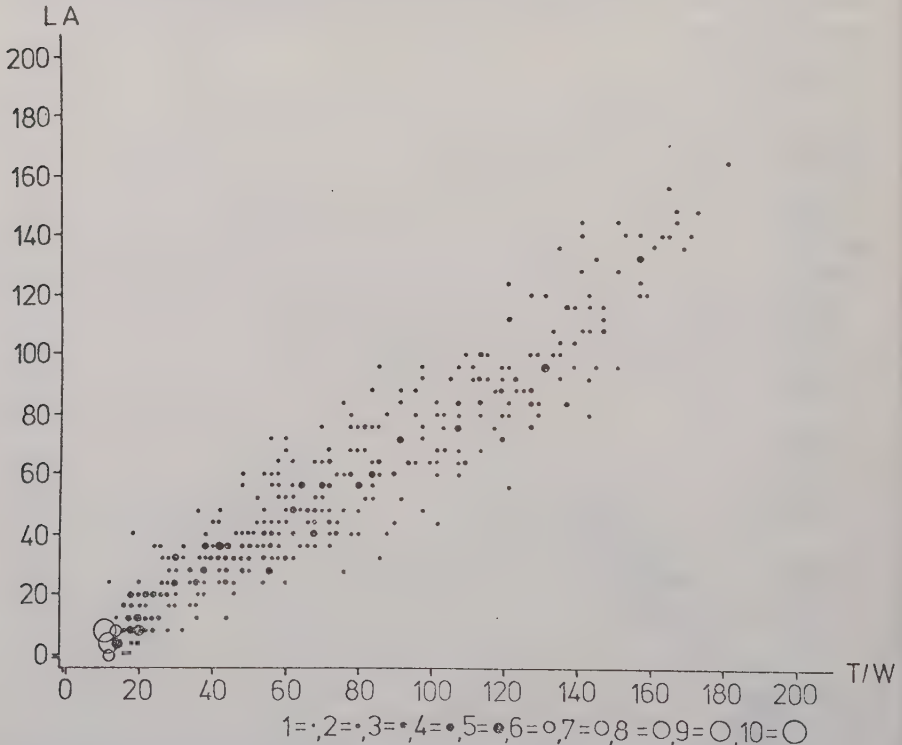


Abb. 14: Korrelationsdiagramm Längenalter - Knochenalter nach TANNER-WHITEHOUSE (Zahlenangaben in Monaten)

Wie Abbildung 14 zeigt, liegt der weitaus größte Teil der Werte (90 %) im Korrelationsdiagramm Längenalter - Knochenalter nach TANNER-WHITEHOUSE unterhalb der Winkelhalbierenden. Das heißt, der größte Teil der Kinder hatte ein Knochenalter nach TANNER-WHITEHOUSE, das über dem Längenalter lag.

Nur 8 Werte (2 %) sind gleich. Die Mittelwerte für das Längenalter und das Knochenalter nach TANNER-WHITEHOUSE liegen um 16,6 Monate auseinander.

Das Knochenalter nach TANNER-WHITEHOUSE ist somit größtenteils größer als das Längenalter.

Beziehung zwischen Längenalter und Knochenalter nach der planimetrischen Methode

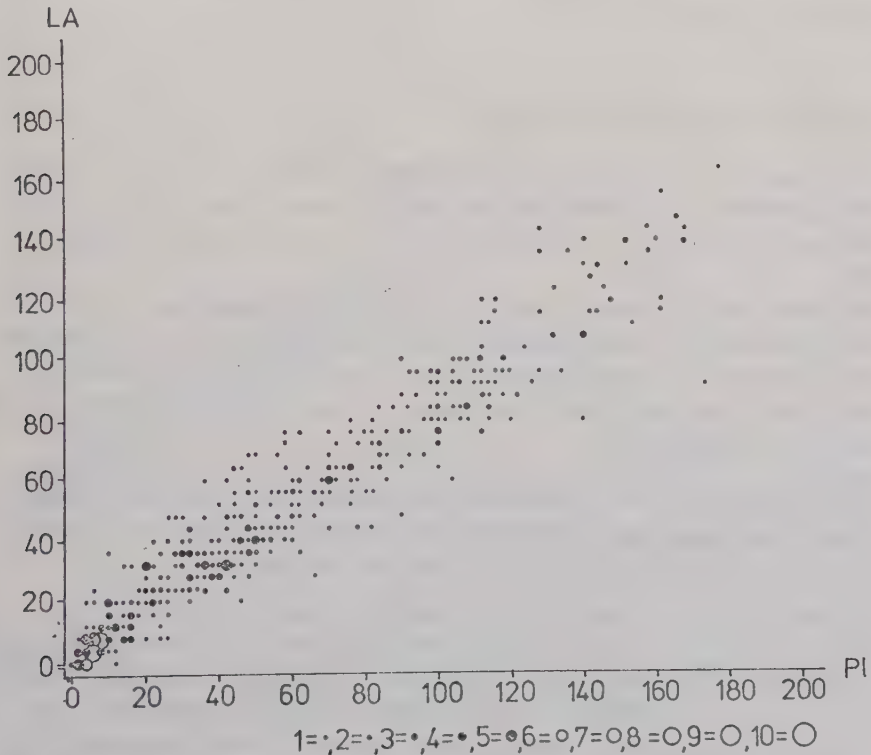


Abb. 15: Korrelationsdiagramm Längenalter - Knochenalter nach der planimetrischen Methode (Zahlenangaben in Monaten)

Das mittlere Längenalter aller untersuchten Kinder liegt um 7,2 Monate unter dem nach der planimetrischen Methode ermittelten

Knochenalter.

Abbildung 15 zeigt eine gute Korrelation zwischen dem Längenalter und dem Knochenalter nach der planimetrischen Methode, besonders im Bereich von 0 - 60 Monaten. Jenseits des 5. Lebensjahres besteht die Tendenz, daß die Knochenalterswerte nach der planimetrischen Methode in der Mehrzahl der Fälle über dem Längenalter liegen. Dies ist wieder auf das Patientengut zurückzuführen, da viele Kinder mit einem konstitutionellen Minderwuchs im Untersuchungsgut vorhanden waren, die eine kleinere Endlänge zu erwarten haben und in der Längenentwicklung im Unterschied zur Knochenreife deutlich retardiert sind.

Beziehung zum Gewichtsalter

Die Ergebnisse besitzen, wie eingangs erwähnt, nur eine geringe Aussagekraft. Das Gewichtsalter wurde, da es in der Praxis oft Verwendung findet, trotzdem mit in diese Untersuchung einbezogen.

Wie Abbildung 16 zeigt, verhält sich das Gewichtsalter zum Knochenalter nach TANNER-WHITEHOUSE sehr ähnlich wie das Längenalter. Der Großteil der untersuchten Kinder fallen unter die Winkelhalbierende, das heißt, das Knochenalter nach TANNER-WHITEHOUSE liegt über dem Gewichtsalter der untersuchten Kinder.

In Abbildung 17 ist ersichtlich, daß im Bereich von 0 - 60 Monaten eine gute Korrelation zwischen dem Gewichtsalter und dem Knochenalter nach der planimetrischen Methode besteht.

Jenseits des 5. Lebensjahres besteht wie beim Längenalter die Tendenz, daß die Knochenalterswerte nach der planimetrischen Methode über dem Gewichtsalter liegen. Das mittlere Gewichtsalter liegt - wie das Längenalter - mit 55,0 Monaten zwischen dem Methodentalter und dem Kalenderalter. Es kann in der Beziehung von Gewichtsalter zum Methodentalter und dem Längenalter zum Methodentalter ein sehr ähnliches Verhalten festgestellt werden.

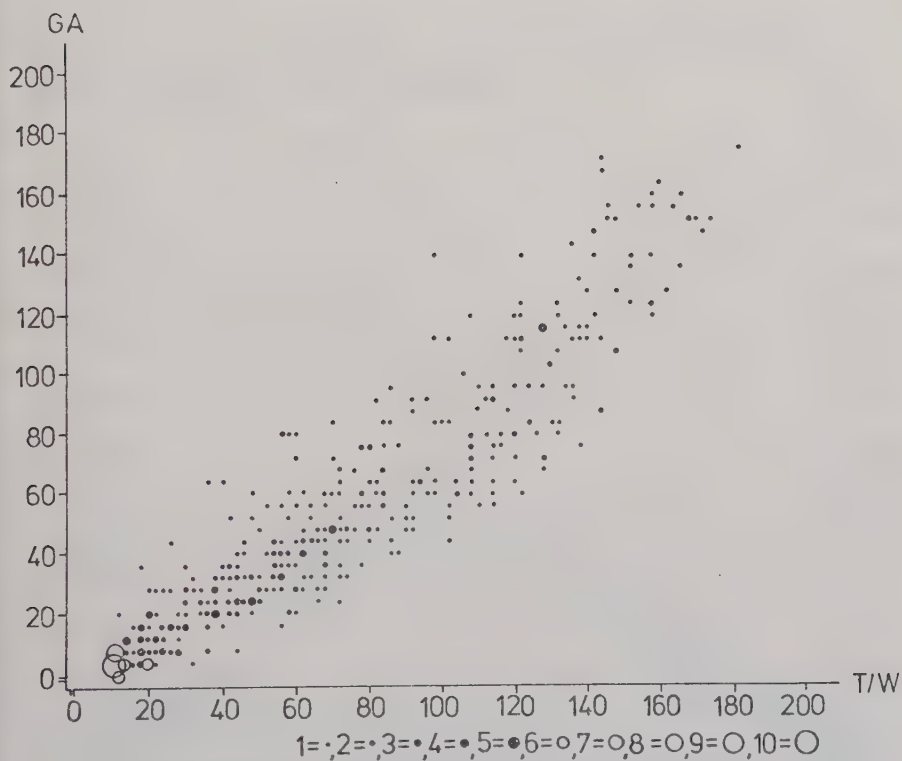


Abb. 16: Korrelationsdiagramm Gewichtsalter - Knochenalter nach TANNER-WHITEHOUSE (Zahlenangaben in Monaten)

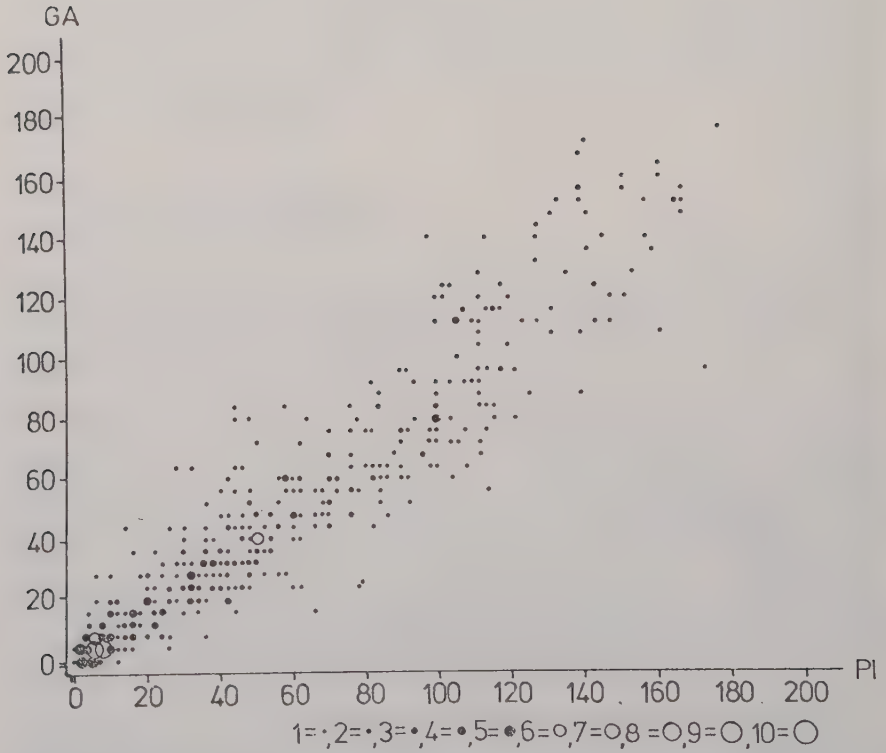


Abb. 17: Korrelationsdiagramm Gewichtsalter - Knochenalter nach der planimetrischen Methode (Zahlenangaben in Monaten)

Beziehung zwischen den beiden Knochenaltern

Das mittlere Knochenalter nach TANNER-WHITEHOUSE beträgt 71,5 Monate, das nach der planimetrischen Methode gewonnene Knochenalter 62,6 Monate.

Das planimetrische Knochenalter liegt also um 8,9 Monate unter dem Knochenalter nach TANNER-WHITEHOUSE.

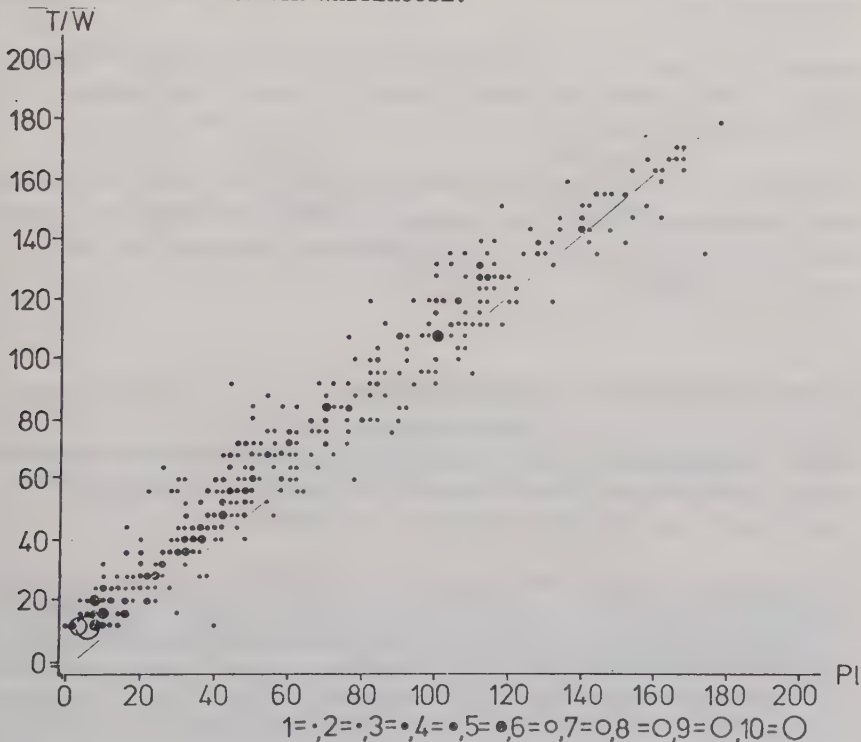


Abb. 18: Korrelationsdiagramm Knochenalter nach TANNER-WHITEHOUSE - Knochenalter nach der planimetrischen Methode (Zahlenangaben in Monaten)

Abbildung 18 zeigt das Verhalten der mittleren planimetrischen Knochenalter zum Knochenalter nach TANNER-WHITEHOUSE.

Der Korrelationskoeffizient beträgt 0,967, der Regressionskoeffizient 0,974, das heißt, daß die planimetrische Methode das Knochen-

alter der untersuchten Kinder etwas jünger einschätzt als die Methode nach TANNER-WHITEHOUSE.

14 Fälle wurden von beiden Methoden gleich alt eingeschätzt, 56 Fälle von der planimetrischen Methode älter als von TANNER-WHITEHOUSE, 370 Fälle wurden nach TANNER-WHITEHOUSE älter eingeschätzt. Der Unterschied ist allerdings geringfügig, da die Streuung nicht bedeutend ist.

Weiter fällt auf, daß im Bereich 0 - 60 Monaten beide Methoden stärker voneinander abweichen; nach 120 Monaten entsprechen sie sich recht gut.

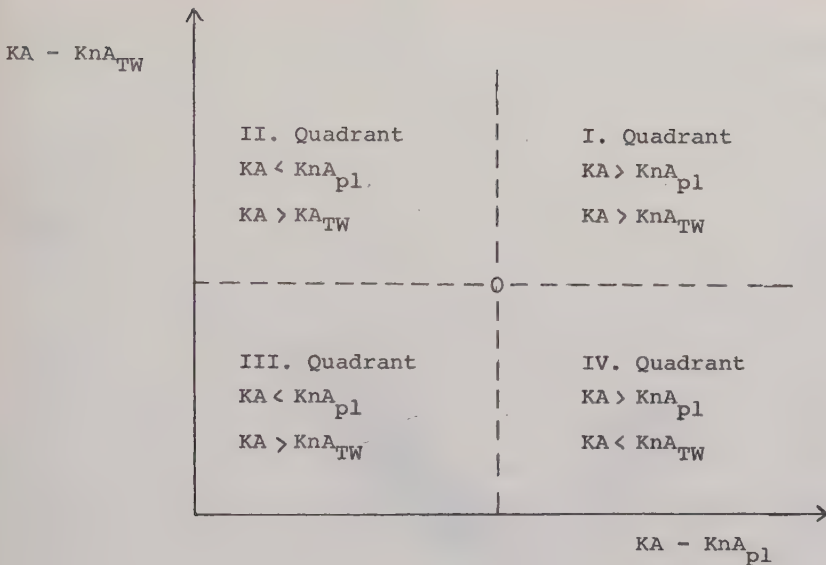
Der größte Teil der beiden Knochenalter verteilt sich auf die ersten 60 Monate. Sowohl das planimetrische Knochenalter als auch das morphische Knochenalter nach TANNER-WHITEHOUSE sind nach links verschoben.

Gegenüberstellung der Differenzbildung

In den Abbildungen 19, 20, 21 sind die Differenzen aus Kalenderalter, Längenalter, Gewichtsalter und jeweils dem Knochenalter nach den beiden Methoden graphisch dargestellt.

Der Nullpunkt liegt innerhalb einer Punktwolke, die sich auf 4 Quadranten verteilt. Dabei kreuzen sich die Koordinaten (gestrichelt gezeichnet) und teilen die Punktwolke in Quadranten auf.

Die Quadranten werden entgegen dem Uhrzeigersinn mit den römischen Ziffern I-IV gekennzeichnet. Folgende Zeichnung erleichtert das Lesen der Abbildungen:



Zeichenerklärung: KA = Kalenderalter; Kna_{TW} = Knochenalter nach TANNER-WHITEHOUSE;
 Kna_{pl} = Knochenalter nach der planimetrischen Methode.

In Abbildung 19 liegt zum weitaus größten Teil das Kalenderalter über dem Methodenalter (65,8 %); in 0,9 % der Fälle lag das Kalenderalter höher als das Knochenalter nach TANNER-WHITEHOUSE, aber niedriger als das Knochenalter nach der planimetrischen Methode.

In 37 Fällen (8,4 %) überstiegen die Methodenalter das Kalenderalter und bei 106 Fällen (24 %) lag das Kalenderalter wohl über dem planimetrischen Knochenalter, aber unter dem Knochenalter nach TANNER-WHITEHOUSE.

In Abbildung 20 liegen im I. Quadranten mit 32 nur 7,2 % der Fälle, in denen das Längenalter die Methodenalter übertrifft. In 7 Fällen (1,6 %) übertrifft das Längenalter zwar das Knochenalter nach TANNER-WHITEHOUSE, aber nicht das nach der planimetrischen Methode

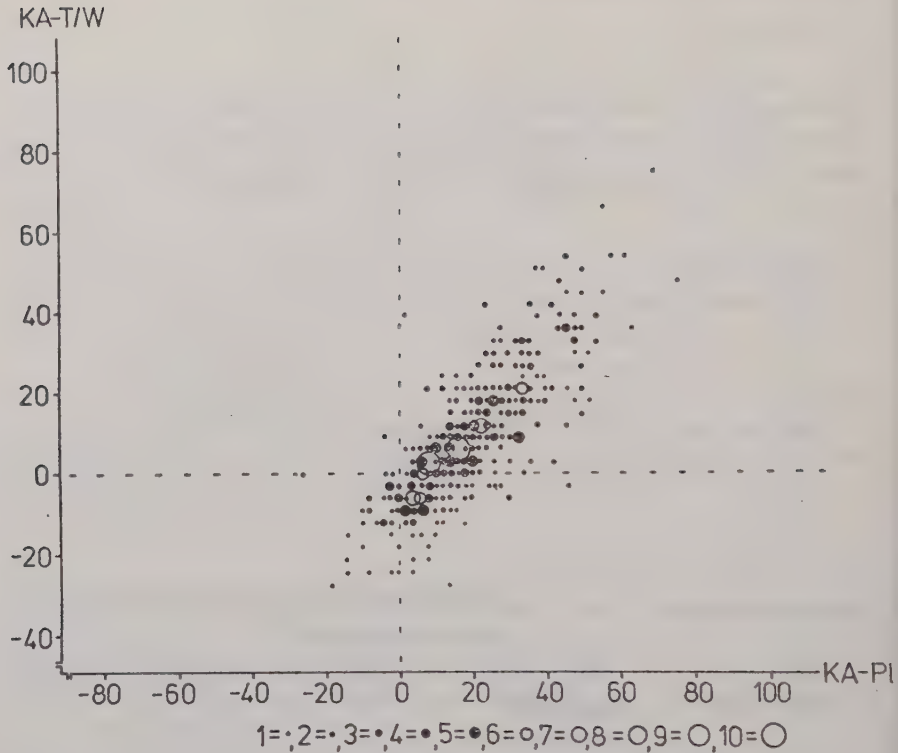


Abb. 19: Darstellung der Differenzen aus Kalenderalter und Knochenalter nach TANNER-WHITEHOUSE gegen die Differenzen aus Kalenderalter und Knochenalter nach der planimetrischen Methode (Zahlenangaben in Monaten)

gewonnene. Zum größten Teil (62,6 %) liegt das Längenalter teilweise weit (50 Monate) unter dem Methodenalter, ein Ergebnis, das nach Auswahl des Patientengutes zu erwarten ist; dies zeigt deutlich der III. Quadrant. 126 Kinder (28,6 %) zeigen zwar ein zum planimetrischen Knochenalter größeres Längenalter, liegen mit dem Längenalter jedoch unter dem Knochenalter nach TANNER-WHITEHOUSE.

Beim Gewichtsalter ist die Situation ähnlich wie beim Längenalter; Abb. 21.

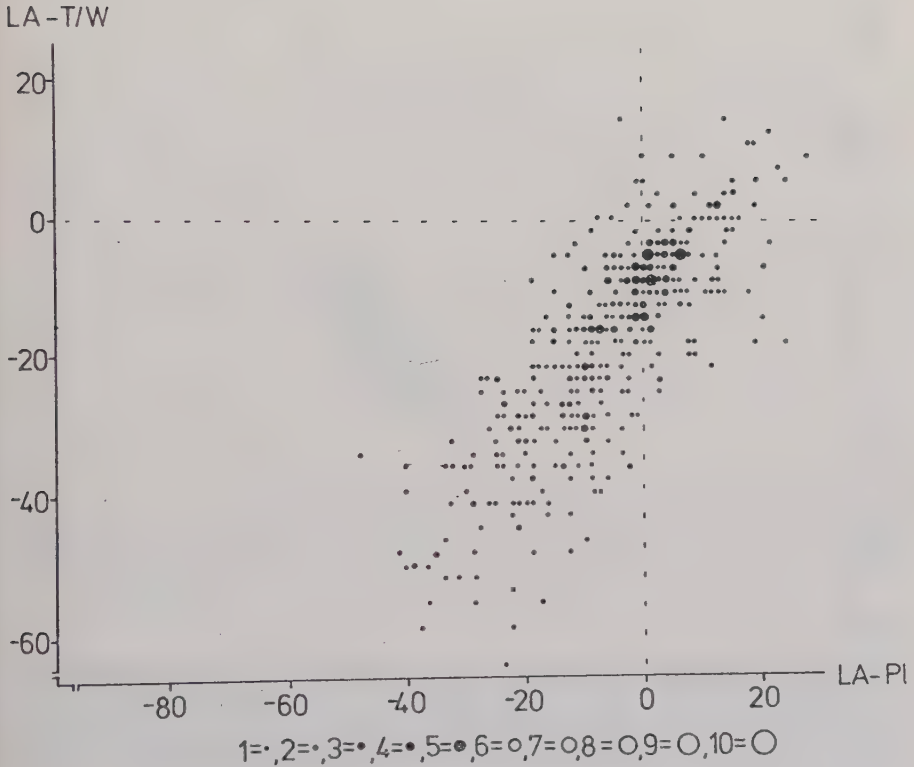


Abb. 20: Darstellung der Differenzen aus Längenalter und Knochenalter nach TANNER-WHITEHOUSE gegen die Differenzen aus Längenalter und Knochenalter nach der planimetrischen Methode (Zahlenangaben in Monaten)

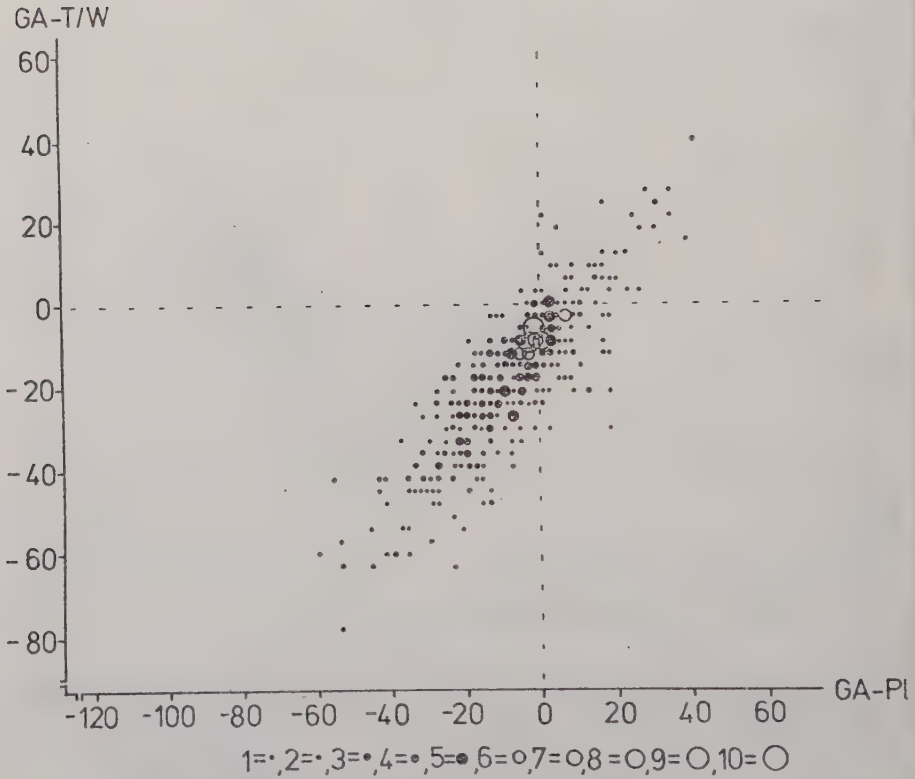


Abb. 21: Darstellung der Differenzen aus Gewichtsalter und Knochenalter nach TANNER-WHITEHOUSE gegen die Differenzen aus Gewichtsalter und Knochenalter nach der planimetrischen Methode (Zahlenangaben in Monaten)

In den Histogrammen der Abbildungen 22-27 sind die Verteilungen der Differenzen aus Kalenderalter, Längenalter, Gewichtsalter und jeweils dem Methodenalter aufgetragen. Die Ordinate zeigt die prozentuale Häufigkeit der einzelnen Klassenbesetzungen. Die Klassenbreiten sind unterschiedlich.

In den Abbildungen 22 und 23 fällt die Häufung der Fälle um den Nullpunkt bis zur Klasse 24 bei TANNER-WHITEHOUSE und bis zur Klasse 30 bei der planimetrischen Methode auf. Das heißt, daß in der Mehrzahl der Fälle die Differenz aus Kalenderalter und Methodenalter positiv ist, das Kalenderalter das Methodenalter also übertrifft. Die Streuung zur negativen Differenz ist auf Abb. 22 deutlicher. Das bedeutet, daß in mehr Fällen die morphische Methode nach TANNER-WHITEHOUSE das Knochenalter gegenüber dem Kalenderalter höher bestimmt als die planimetrische Methode.

Aus beiden Abbildungen geht wieder hervor, daß nach TANNER-WHITEHOUSE das Knochenalter höher eingeschätzt wird als mit der planimetrischen Methode.

Es liegt eine ähnliche positive Schiefe vor wie bei der Altersverteilung und den Knochenaltersverteilungen nach den einzelnen Methoden. Es handelt sich hierbei um die gleiche Häufung der kleinen Alterswerte, in diesem Fall der vom Wert her kleineren Differenz aus Kalenderalter und Methodenalter.

Im Vergleich zu den Differenzbildern der Abbildungen 22 und 23 zeigt sich insgesamt eine Verschiebung in den negativen Bereich, das heißt, die Differenzen aus dem Längenalter und dem Knochenalter nach den beiden Methoden nehmen größtenteils kleinere Werte an als die Differenzen aus dem Kalenderalter und dem Knochenalter nach den beiden Methoden.

Somit liegt das Längenalter im Vergleich zum Kalenderalter noch niedriger als beide Knochenalter.

Abbildung 24 zeigt, daß in nur ganz wenigen Fällen das Längenalter über dem Knochenalter nach TANNER-WHITEHOUSE liegt. Bis zu Klasse -34 fällt die prozentuale Verteilung gleichmäßig ab, obwohl eine Häufung in den Klassen 0 bis -16 beobachtet werden kann. Deutlich ist wiederum die große Streuung bis -60, das heißt,

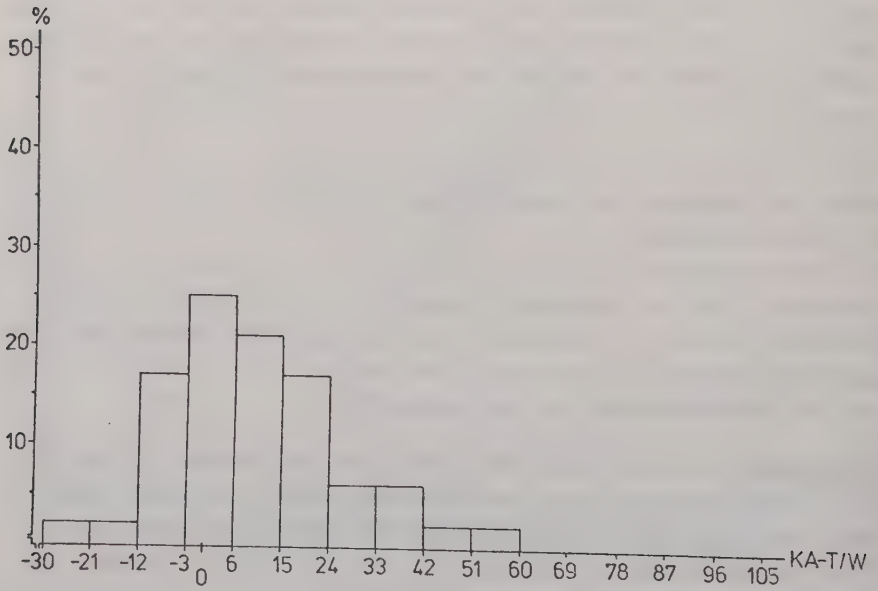


Abb. 22: Häufigkeitsverteilung der Differenzen aus Kalenderalter und Knochenalter nach TANNER-WHITEHOUSE

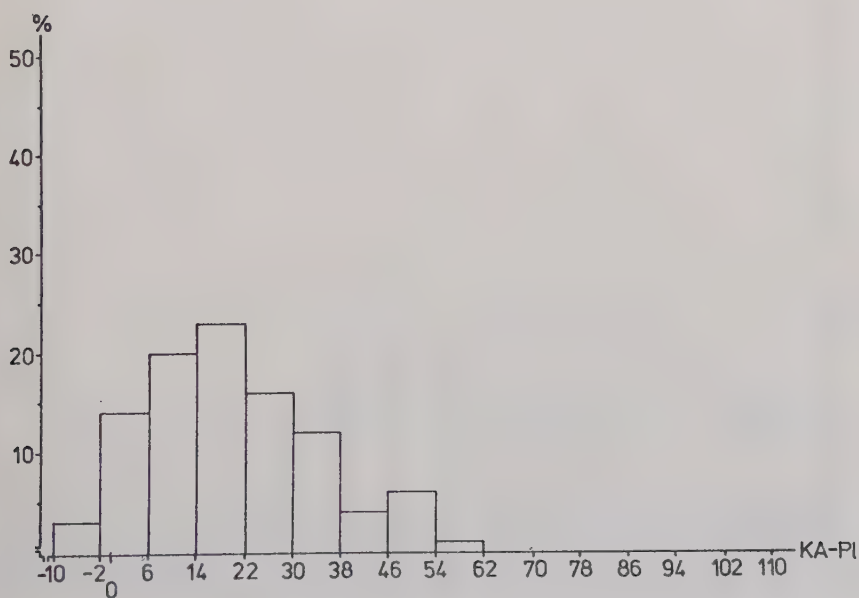


Abb. 23: Häufigkeitsverteilung der Differenzen aus Kalenderalter und Knochenalter nach der planimetrischen Methode

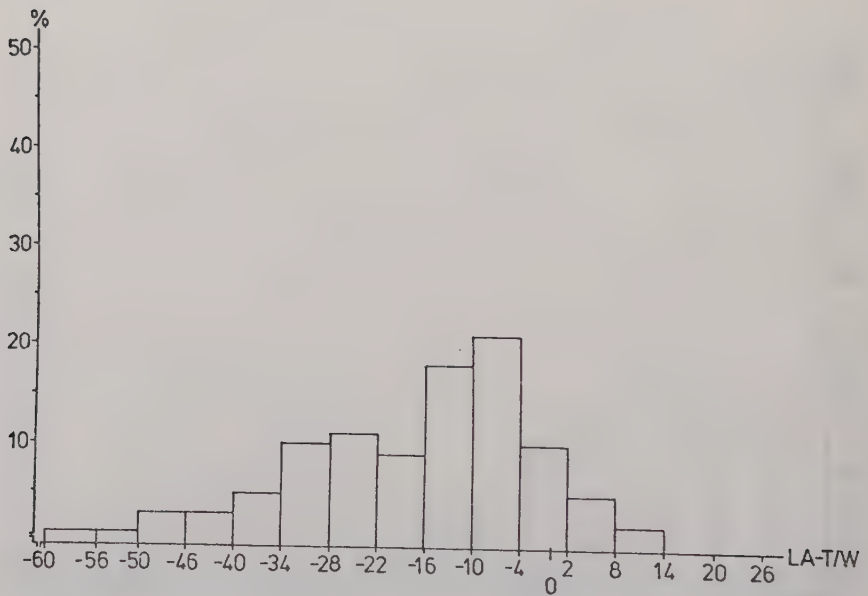


Abb. 24: Häufigkeitsverteilung der Differenzen aus Längenalter und Knochenalter nach TANNER-WHITEHOUSE

eine höhere Schätzung des Knochenalters nach TANNER-WHITEHOUSE gegenüber dem Längenalter.

Eine bessere Übereinstimmung zeigt Abbildung 25, in der die Klasse um 0 am stärksten besetzt ist. Es zeigt sich hier eine gute

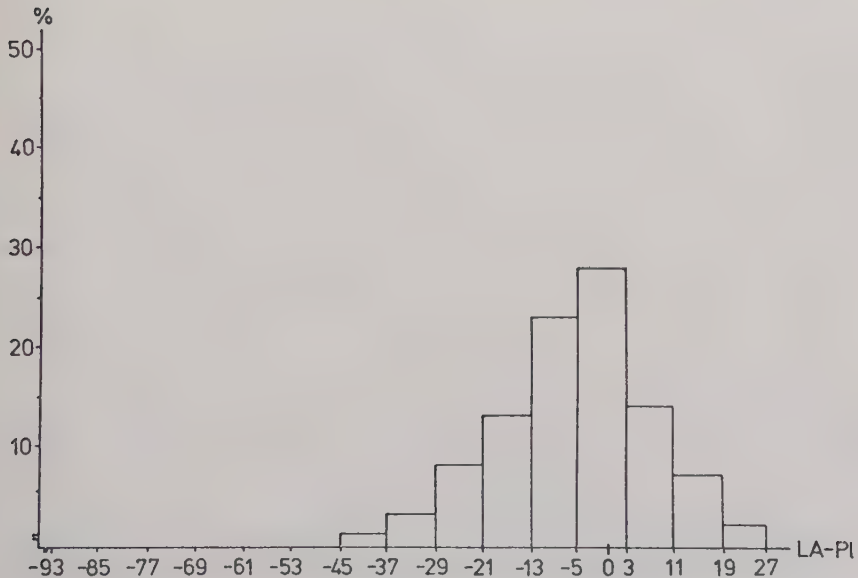


Abb. 25: Häufigkeitsverteilung der Differenzen aus Längenalter und Knochenalter nach der planimetrischen Methode

Übereinstimmung zwischen Längenalter und Knochenalter nach der planimetrischen Methode mit der Tendenz der höheren Schätzung nach dem Methodenalter. Das Knochenalter nach der planimetrischen Methode entspricht also stärker dem Längenalter als das Knochenalter nach TANNER-WHITEHOUSE, außerdem ist der Streubereich sehr viel kleiner.

Bei der Betrachtung der Verteilungsdiagramme der Abbildungen 26

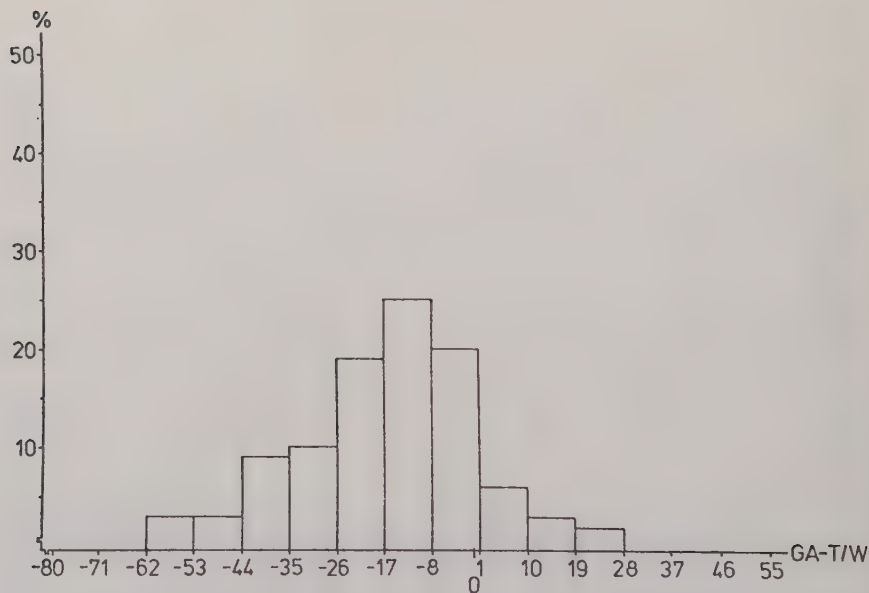


Abb. 26: Häufigkeitsverteilung der Differenzen aus Gewichtsalter und Knochenalter nach TANNER-WHITEHOUSE

und 27 fällt die Ähnlichkeit mit den Abbildungen 24 und 25 auf. Die Streubereiche liegen in beiden Differenzbildern sehr weit. Auffallend ist in Abbildung 27 die Häufung in der Besetzung um den 0-Punkt.

Somit würde dem Gewichtsalter eine ähnliche Bedeutung zukommen wie dem Längenalter.

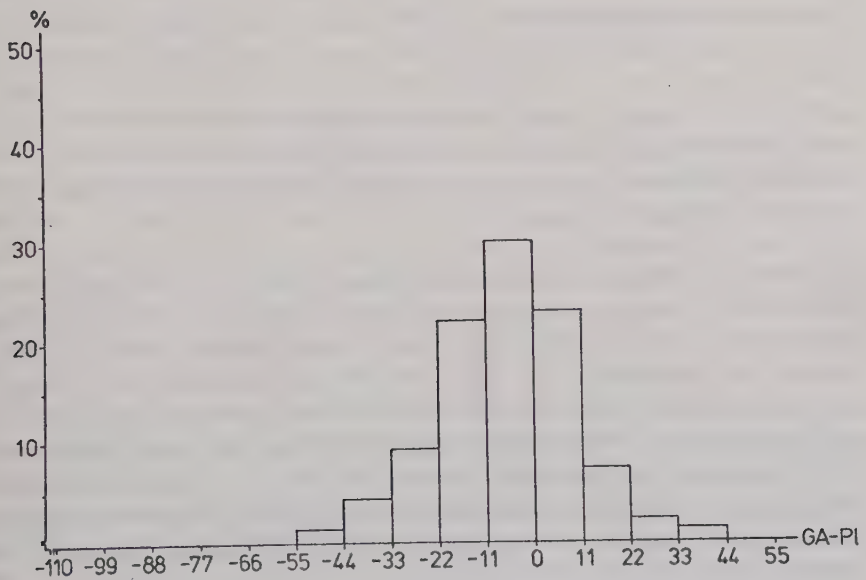


Abb. 27: Häufigkeitsverteilung der Differenzen aus Gewichtsalter und Knochenalter nach der planimetrischen Methode

DISKUSSION

Minderwüchsige Kinder haben nach beiden Methoden ein Knochenalter, das niedriger ist als ihr Kalenderalter. Das mittlere Knochenalter liegt - mit der carpometrischen Methode bestimmt - deutlich unter dem Kalenderalter, schätzt aber auch allgemein im Durchschnitt um 8,9 Monate niedriger als die Methode nach TANNER-WHITEHOUSE.

Daß das Knochenalter nach TANNER-WHITEHOUSE höher eingeschätzt wird als nach der planimetrischen Methode, kann verschiedene Gründe haben. Es besteht die Möglichkeit, daß englische Kinder langsamer reifen als deutsche, zum anderen kann der Unterschied in der Methode selbst liegen. TANNER-WHITEHOUSE entwickelte seine Methode durch Untersuchungen an englischen Kindern, die Grundlage für das nach der planimetrischen Methode gewonnene Knochenalter bildeten die Hände deutscher Kinder.

Problematisch erscheint die Anwendbarkeit und Übertragbarkeit von Auswertungsergebnissen auf andere Populationen, die sich von der, bei der die Methode entwickelt wurde, unterscheidet. Bereits GARN, ROHMANN und SILVERMAN (19), LEE, ROHMANN und WIGGINS (33) haben die Notwendigkeit einer allgemeinen Standardgewinnung dargestellt. Somit müßten für jede zu untersuchende Population spezielle Standards erarbeitet werden (13). TANNER nahm bereits, bevor er seine erste Methode veröffentlicht hatte, an, daß die Knochenreifung bei amerikanischen Kindern im Vergleich zu englischen beschleunigt ist (50).

Was den methodischen Unterschied angeht, kam FENDEL (10) zu dem Ergebnis, "daß es sich bei dem carpometrischen Knochenalter nicht um das eigentliche Knochenalter der Hand handelt". Dies wäre nur mit einer carpomorphischen Methode zu bestimmen. FENDEL (10) bezeichnet das carpometrische Knochenalter als Hilfsgröße, das nur dann über die Skelettentwicklung etwas aussagen kann, wenn es in die Streubreite des carpomorphischen fällt.

Zweifellos scheint es ein Nachteil der planimetrischen Methode zu sein, daß ihr Ergebnis allein von der Knochengröße abhängig ist.

Es wird allein die Größenzunahme bestimmt. Außerdem kann sie dem Wunsche, die Größe eines Knochens zu erfassen, nicht nachkommen, da das Röntgenbild nur über zwei Dimensionen Aufschluß gibt. Allerdings ist die Bestimmung von bereits kleinen Veränderungen möglich und die Methode läßt Interpolationen zu. Dies ist bei TANNER-WHITEHOUSE nicht möglich. Es ist zu bedenken, daß - sicherlich methodenbedingt - das Knochenalter nach TANNER-WHITEHOUSE in einigen Fällen noch zu niedrig angesetzt ist, da man beim Auswerten dazu neigt, den niedrigeren Punktwert zu geben, wenn der nächst höhere noch nicht eindeutig feststellbar ist. Dabei sind die Beurteilungskriterien zu den Stufen nach TANNER-WHITEHOUSE ausführlich, exakt und detailliert.

Die Auswertung der Röntgenbilder wurde auf 5 Personen verteilt. Es traten keine Auswertungspausen ein. So kann der durchschnittliche systematische Fehler als relativ gering angesehen werden, wenn man ausschließt, daß alle 5 Auswerter den gleichen systematischen Fehler begingen. Eine Konzentrierung systematischer Fehler in bestimmten Kalenderabschnitten scheidet auch aus, da die Aufteilung der Röntgenbilder an die Auswerter in unsortiertem Zustand erfolgte.

Im Vergleich zu den Ergebnissen in der Literatur an normalwüchsigen Kindern konnten keine grundsätzlichen Abweichungen zwischen den Methoden bei der Anwendung an minderwüchsigen Kindern festgestellt werden. Zwischen minderwüchsigen und normalwüchsigen Kindern bestehen keine qualitativen Reifungsunterschiede. Es findet bei der konstitutionellen Entwicklungsverzögerung lediglich eine zeitliche Verschiebung im Erscheinen der Knochenkerne statt. Es konnten auch keine auffallenden Reifungsatypien bei der Auswertung beobachtet werden.

Sicherlich ist beim planimetrischen Verfahren stärker als bei der Methode nach TANNER-WHITEHOUSE die ausgeprägte Linksverschiebung gegenüber dem chronologischen Alter in der besonderen Auswahl der Patienten begründet.

Sowohl HANSMANN und MARESH (25) als auch die Züricher Arbeitsgruppe (BUDLIGER et al. (3)) fanden eine ziemlich genaue Übereinstim-

mung der planimetrischen Knochenalter mit dem Kalenderalter. Da unsere untersuchten minderwüchsigen Kinder keine Reifungsanomalien an der Hand zeigten, konnten beide Methoden an ihnen genauso wie an normalwüchsigen Kindern angewendet werden. Ihr Knochenalter liegt zwangsläufig als Reifekriterium hinter ihrem Kalenderalter, da der Reifungsprozeß sich bei ihnen zeitlich verschoben vollzieht.

Das nach der planimetrischen Methode gewonnene Knochenalter entspricht mehr dem Längenalter. Dies kann zufällig sein. Es kann sich aber auch hierin der grundsätzliche Nachteil einer metrischen Knochenalterbestimmung äußern, nämlich daß die reine Größenentwicklung eines Kindes das metrische Knochenalter stärker beeinflußt als die eigentliche Reifung.

ZUSAMMENFASSUNG

519 Aufnahmen von linken Kinderhänden wurden nach der Knochenalterbestimmungsmethode von TANNER-WHITEHOUSE und nach der planimetrischen Methode ausgewertet. Es wurde das Verhalten beider Methoden zueinander sowie deren Beziehung zum Kalender-, Längen- und Gewichtsalter des untersuchten Kindes dargestellt. Es handelte sich um Kinder mit nicht-endokrinem Minderwuchs, die kleiner als der Wert der dritten Perzentile nach STUART und STEVENSON waren. Es konnte nicht unterschieden werden, ob es sich um Kinder mit konstitutioneller Entwicklungsverzögerung oder um Kinder mit konstitutionellem Minderwuchs handelte.

Der direkte Vergleich beider Methoden untereinander zeigte, daß nach TANNER-WHITEHOUSE das Knochenalter höher eingeschätzt wird als mit der planimetrischen Methode. Besonders stark fällt die Abweichung in den ersten 5 Lebensjahren auf. Beide Methoden stimmen nach dem 10. Lebensjahr gut überein.

Beiden Methoden gemeinsam ist, daß sie das Knochenalter bezogen auf das Kalenderalter der minderwüchsigen Kinder niedriger einschätzen. Beide Knochenalter sind gegenüber dem Kalenderalter nach links verschoben, beide Knochenalter waren kleiner als das Kalenderalter. Es fällt auf, daß die planimetrische Methode besonders in den ersten 3 Lebensjahren das Knochenalter gegenüber dem Kalenderalter niedriger einschätzt.

Das Knochenalter beider Methoden war gegenüber dem Längenalter nach rechts verschoben, da das Knochenalter nach TANNER-WHITEHOUSE und nach der planimetrischen Methode größer war als das zugehörige Längenalter. Allerdings konnte innerhalb der ersten 5 Lebensjahre eine stärkere Korrelation zwischen dem Längenalter und dem planimetrischen Knochenalter festgestellt werden.

Im Verhalten beider Methoden zum Gewichtsalter wurde eine weitgehende Ähnlichkeit mit ihrem Verhalten zum Längenalter festgestellt. Innerhalb der ersten 5 Jahre kann mit der planimetrischen Methode eine stärkere Korrelation mit dem Gewichtsalter und dem

Längenalter gefunden werden. Dies kann zufällig sein. Es kann sich hierin aber auch der grundsätzliche Nachteil einer metrischen Knochenalterbestimmung zeigen, nämlich daß die reine Größenentwicklung eines Kindes das metrische Knochenalter stärker beeinflußt als die eigentliche Reifung.

Einzelknochenalter wurden nicht miteinander verglichen, da mit der Knochenalterbestimmungsmethode von TANNER-WHITEHOUSE nur das Alter der gesamten Hand feststellbar ist und keine Aussage über das Alter eines einzelnen Handknochens gemacht werden kann, wie es mit der planimetrischen Methode möglich ist.

LITERATURVERZEICHNIS

1. ACHESON, R.M.:
Radiographs of the hand as an index of skeletal maturity
in infants.
Arch.Dis.Childh. 27, 382-385 (1962)
2. ACHESON, R.M.:
A method of assessing skeletal maturity from radiographs.
J.Anat.(Lond.) 88, 498-508 (1954)
3. BUDLIGER, H., MORSCHER, E., PRADER, A., EKLÖF, O., GEFFERTH,
K. und FENDEL, H.:
Das Knochenalter. Methodische und klinische Probleme.
Radiologe 11, 296-299 (1971)
4. CAFFEY, J.:
Pediatric X-Ray Diagnosis: A Textbook for Students and
Practitioners of Pediatrics, Surgery and Radiology.
Chicago: The Year Book Publishers 1945
5. CAMPBELL, R.C.:
Statistische Methoden für Biologie und Medizin.
Stuttgart: Thieme Verlag 1971
6. CHRISTIE, A.:
Prevalence and distribution of ossification centres in
the newborn infants.
Amer.J.Dis.Child., 77, 355-361 (1949)
7. DREIZEN, S., SNODGRASSE, R.M., WEBB-PEPLOE, H., PARKER, G.S.
and SPIES, T.D.:
Bilateral symmetry of skeletal maturation in the human
hand and wrist.
Amer.J.Dis.Child., 93, 122-127 (1957)

8. ELGENMARK, O.:
The normal development of the ossific centers during infancy and childhood: Clinical, roentgenologic, and statistical study.
Acta Paediat. (Uppsala), 33, 1-79 (1946)
9. EKLÖF, O., RINGERTZ, H.:
A method of assessment of skeletal maturity.
Ann.Radiol., 10, 330-336 (1967)
10. FENDEL, H.:
Die Methodik der radiologischen Skelettalterbestimmung.
Radiologe, 16, 370-380 (1976)
11. FENDEL, H.:
Das Karpogramm als Hilfsmittel bei der Behandlung von Schilddrüsenfunktionsstörungen im Kindesalter.
Mschr.Kinderheilk., 113, 285-287 (1971)
12. FLORY, C.D.:
Osseous development in the hand as an index of skeletal development.
Nat.Research Council, Wash., 3 (1936)
13. GARN, S.M.:
The applicability of North American growth standards in developing countries.
Canad.med.Ass.J., 93, 914-919 (1965)
14. GARN, S.M., ROHMANN, C.G.:
The adductor sesamoid of the thumb.
Amer.J.Phys.Anthrop., 20, 297-302 (1962)
15. GARN, S.M., ROHMANN, C.G.:
Communalities of the ossification centers of the hand and wrist.
Amer.J.phys.Anthrop., 17, 319-323 (1959)

16. GARN, S.M., ROHMANN, C.G.:
Variability in the order of ossification of the bony centers of the hand and wrist.
Amer.J.phys.Anthrop., 18, 219-230 (1960)
17. GARN, S.M., ROHMANN, C.G.:
Parent-child similarities in hand-wrist ossification.
Am.J.Dis.Child., 103, 603-607 (1962)
18. GARN, S.M., ROHMANN, C.G.:
The number of hand-wrist centres.
Amer.J.phys.Anthrop., 18, 293-299 (1960)
19. GARN, S.M., ROHMANN, C.G., SILVERMAN, F.N.:
Radiographic standards for postnatal ossification and tooth calcification.
Med.Radiogr.and Photogr., 2, 45-66 (1967)
20. GRAHAM, C.B.:
Assessment of bone maturation - methods and pitfalls.
Radiol.Clin.N.Amer., 10, 2, 185-202 (1972)
21. GREULICH, W.W.:
The rationale of assessing the developmental status of children from roentgenograms of the hand and wrist.
Child.Dev., 21, 1, 33-44 (1950)
22. GREULICH, W.W., PYLE, S.J.:
Radiographic Atlas of Skeletal Development of Hand and Wrist, 2nd Ed.
Oxford: Standford Univ.Press 1959
23. GREULICH, W.W., PYLE, S.J.:
Radiographic Atlas of Skeletal Development of the Hand and Wrist.
Oxford: Standford Univ.Press 1950

24. HARNACK, v., G.A.:
Reifebestimmung des Skeletts im Kindesalter.
Z.Geburtsh.Gynäk., 78, 237-244 (1974)
25. HANSMANN, C.F., MARESH, M.M.:
A longitudinal study of skeletal maturation.
Arch.Dis.Child., 101, 305-321 (1961)
26. HOUSE, R.W.:
A summary of forty-nine radiologists opinions on the
skeletal age limits of apparently normal six-year-old
children.
Amer.J.Roentgenol., 64, 442-445 (1950)
27. HUGHES, P.C., TANNER, J.M.:
The development of carpal bone fusion as seen in serial
radiographs.
Brit.J.Radiol., 39, 943-949 (1966)
28. KELLY, H.J., REYNOLDS, L.:
Appearance and growth of ossification centers and
increases in the body dimensions of white and negro
infants.
Amer.J.Roentgen., 57, 477-516 (1947)
29. KRAUS, B.S.:
Calcification of the human deciduous teeth.
J.Amer.dent.Ass., 59, 1128 (1959)
30. KRONFELD, R., LOGAN, W.:
Development of the human jaws and surrounding structures
from birth to the age of fifteen years.
J.Amer.dent.Ass., 20, 379 (1933)
31. KUNZE, D., MURKEN, J.D.:
Diagnostik von Längenalter und Gewichtsalter mit neuen
Somatogrammen.
Kinderarzt 5, 1077-1080 (1974)

32. LAUTERSTEIN, A.M.:
A cross-sectional study in dental and skeletal age.
J.Amer.dent.Ass., 62, 161-167 (1961)
33. LEE, M., ROHMANN, C.G., WIGGINS, P.:
Skeletal maturity and total number of ossification
centers present in hand and wrist radiograms of
Chinese children.
Amer.J.phys.Anthrop., 25, 202 (1966)
34. MARKUSKE, H.:
Vergleichende Untersuchung des Knochenalters und Zahn-
alters von Familienkindern und Krippenkindern im Alter
von 6 bis 30 Monaten.
Z.Kinderheilk., 100, 27-34 (1967)
35. MELLMANN, W.J., BONGIOVANNI, A.M., HOPE, J.W.:
The diagnostic usefulness of skeletal maturation in an
endocrine clinic.
Pediatrics, 23, 530-544 (1959)
36. PATTON, R.G., GARDNER, L.J.:
Influence of family environment on growth: The syndrome
of maternal deprivation.
Pediatrics, 30, 957-962 (1962)
37. PYLE, S.J.:
Longitudinal studies of child health and development,
Harvard school of public health-series II, No 12: Onsets
Completions and spans of osseous stage of development in
representative bone growth centers of the extremities.
Mon.Soc.Res.Child.Dev., 26, 1-79 (1961)
38. ROCHE, A.F.:
Lateral comparisons of the skeletal maturity of the human
hand and wrist.
Amer.J.Roentgenol., 89, 6, 1271-1279 (1963)

39. ROCHE, A.F., DAVILA, G.H., EYMAN, S.L.:
A comparison between Greulich-Pyle and Tanner-Whitehouse assessments of skeletal maturity.
Radiology, 98, 273-280 (1971)
40. ROTCH, Th.M.:
Chronologic and anatomic age in early life.
J.Amer.Med.Ass. 51, 1197-1205 (1908)
41. SAUVEGRAIN, J., NAHUM, N., CARLE, F.:
La Maturation Osseuse Intérêt de la Détermination de L'Age Osseux.Methodes D'Evaluation (Revue Generale).
Ann.Radiol. 5, 535-541 (1962)
42. SCHMID, F., MOLL, H.:
Atlas der normalen und pathologischen Handskelettentwicklung.
Berlin: Springer-Verlag 1960
43. SCHOUR, J., MASSLER, M.:
The development of the human dentition.
J.Amer.dent.Ass. 28, 1153 (1941)
44. SCHULTE-BRINKMANN, W., KONRAD, R.M.:
Zur Meßtechnik der Hand- und Fußwurzelknochen bei Kindern.
Fortschr.Röntgenstr. 99, 544-550 (1963)
45. SCHULTE-BRINKMANN, W., KONRAD, R.M., EHLERS, F.:
Vergleichende Untersuchungen zur linearen und planimetrischen Messung von Handwurzelknochen.
Fortschr.Röntgenstr. 104, 253-258 (1966)
46. SMITHGALL, E.B., JOHNSTON, F.E., MALINA, R.M., CALBRAITH, M.A.:
Developmental changes in compact bone relationships in the second metacarpal.
Hum.Biol. 38, 141-151 (1966)

47. STUART, H.C., STEVENSON, S.S. in NELSON, W.E.:
Ed. Textbook of Pediatrics 7th Ed. pp.45-46
Philadelphia-London: Saunders 1959
48. STUART, H.C., PYLE, S.J., CARNONI, J., REED, R.:
Onsets, completions and spans of ossification in the
29 bone-growth centers of the hand and wrist.
J.Pediat. 29, 237-249 (1962)
49. SUTOW, W.W., TERASAKI, T., OHWADA, K.:
Comparison of skeletal maturation with dental status
of Japanese children.
Pediatrics 14, 327 (1954)
50. TANNER, J.M.:
The assessment of growth and development in children.
Arch.Dis.Child. 27, 10-33 (1952)
51. TANNER, J.M., WHITEHOUSE, R.H.:
Standards for Skeletal Maturity, Part I
Paris: International Children's Centre 1959
52. TANNER, J.M., WHITEHOUSE, R.H., TAKAISHI, M.:
Standards from birth to maturation for height, weight,
height velocity, and weight velocity: British children
1965, Part I
Arch.Dis.Child. 41, 219 (1966)
53. TANNER, J.M., WHITEHOUSE, R.H., TAKAISHI, M.:
Standards from birth to maturation for height, weight,
height velocity, and weight velocity; British children
1965, Part II
Arch.Dis.Child. 27, 613-624 (1966)
54. TELLER, W.:
Echter und scheinbar endokriner Minderwuchs.
Internist (Berlin) 6, 15-22 (1965)

55. TODD, T.W.:
Atlas of Skeletal Maturation; St. Louis:
Mosby Comp. 1937
56. VOGT, D.:
Über den gegenwärtigen Stand der Akzeleration in Bayern.
Arch.Kinderheilk., 159, 141 (1959)
57. WAGNER, R., COHEN, M.M.:
Skeletal maturation and dental development.
Arch.Dis.Child. 96, 593-594 (1958)
58. WILMS, H.:
Obere Extremität, Hamburg:
Lucas Gräfe und Sillem 1902
59. WITZEL, K.:
Entwicklung der Kiefer und der Zähne beim Menschen.
Berlin: Verlag Zentralstelle Zahnhygiene 1907

LEBENS LAUF

Name: BEUER
Vorname: Elmar Fritz
Geburtsdatum: 1. Mai 1946
Geburtsort: 8050 Freising, Oberbayern
Wohnort: 8052 Moosburg a.d.Isar, Stellwerkstr. 10a
Eltern: Vater: Fritz Beuer, Ingenieur, Freising
Mutter: Käte Beuer, Hausfrau, Freising
Ehefrau: Katharina Beuer, geb. Mayer, Lehrerin an
Volksschulen
Kinder: Florian und Stephan
Volksschule: 1952-56 Seminarübungsschule Freising
Gymnasium: 1956-65 Josef-Hofmiller-Oberrealschule
Freising, 9 Klassen
Abitur: 1965
Bundeswehr: 1965-67 2 Jahre Zeitsoldat
Studienweg: Beginn Wintersemester 1967 an der Universität
München, Tiermedizinische Fakultät
Sommersemester 1968 an der Universität Frei-
burg i.B., Zahnmedizinische Fakultät
Vorphysikum nach 2 Semestern 1969
Physikum nach 6 Semestern 1971
Staatsexamen nach 11 Semestern 1973 an der
Universität München
Bisherige beruf-
liche Tätigkeit: vom 15.1.1974 bis 15.1.1976 Tätigkeit als
Assistenz Zahnarzt
seit 1.2.1976 eigene Praxis in 8052 Moosburg
a.d.Isar, Weingraben 1

Moosburg, 29.6.1977

Elmar F. Beuer

Besonderen Dank schulde ich Herrn Dr. H. Fendel,
Leiter der Röntgenabteilung der Kinderklinik
München für seine tatkräftige Unterstützung.

Mein Dank gilt ebenso Herrn Priv.Doiz. Dr. Thurmayr
und Herrn Dipl.Mathematiker Welzl vom Institut für
Medizinische Statistik, Dokumentation und Daten-
verarbeitung der Technischen Universität München
dafür, daß sie mir in zuvorkommender Weise die
statistische Auswertung meiner Ergebnisse in ihrem
Institut ermöglichten und mich mit ihrem fachmän-
nischen Rat unterstützten.

